ALICE ROBERTS

MAREA ȘANSĂ A EXISTENȚEI

EVOLUȚIA ȘI DEZVOLTAREA OMULUI

O carte care te delectează și te ajută să te înțelegi mai bine, de la creier până în vârful degetelor. —— Richard Dawkins

book HUMANITAS

MAREA ŞANSĂ A EXISTENȚEI

Alice Roberts s-a născut în 1973 la Bristol şi a studiat medicina la Cardiff University, unde a obținut diplome în chirurgie şi în anatomie. A lucrat apoi timp de 18 luni ca medic pentru National Health Service, înainte să devină lector la departamentul de anatomie al Bristol University, unde a predat mai bine de zece ani. A făcut cercetări în domeniul antropologiei biologice, fiind interesată de ceea ce ne spun fosilele despre evoluția omului şi despre diversitatea speciilor umane. În 2008 şi-a obținut doctoratul în paleopatologie (studiul bolilor la fosilele umane). În 2012 a fost prima persoană care a ocupat catedra de *public engagement in science* la Birmingham University. În prezent, predă anatomia evoluționistă şi clinică la Bristol University şi conduce departamentul de anatomie al unei şcoli de chirurgie organizate de National Health Service.

În pararel cu cariera universitară şi ştiințifică, Alice Roberts este şi un prolific realizator de televiziune. A debutat ca specialist în fosile umane în emisiunea *Time Team* de pe Channel 4, în 2001. A făcut parte din echipa inițială de prezentatori ai emisiunii *Coast*, de la BBC Two, unde a prezentat programe precum *Don't Die Young*, *The Incredible Human Journey* (un documentar despre migrația primilor oameni moderni), *Wild Swimming*, *Digging for Britain*, *Horizon (Are We Still Evolving?)*, *Origins of Us*, *Wooly Mammoth* şi *Prehistoric Autopsy*. Este, de asemenea, gazda emisiunii pe probleme de mediu de la Radio 4. A participat la realizarea producției BBC *Ice Age Giants*, unde a examinat biologia unor specii dispărute. Pe lângă articole şi lucrări ştiințifice, Alice Roberts a scris mai multe cărți de popularizare a ştiinței şi semnează rubrica de ştiință în *The Observer*. Trei dintre cărțile ei au ca punct de pornire emisiuni de televiziune – *Don't Die Young: An Anatomist's Guide to Your Organs and Your Health* (2007), *The Incredible Human Journey* (2009) şi *The Celts: Search for a Civilisation* (2015). A mai publicat *The Complete Human Body* (2010) şi *Evolution: The Human Story* (2011) – două volume ilustrate care explorează anatomia şi evoluția umană.

ALICE ROBERTS

MAREA ȘANSĂ A EXISTENȚEI

EVOLUȚIA ȘI DEZVOLTAREA OMULUI

Cu ilustrațiile autoarei

Traducere de
ANCA BĂRBULESCU

HUMANITAS
BUCUREȘTI

Redactor: Anca Lăcătuş
Coperta: Ioana Nedelcu
Tehnoredactor: Manuela Măxineanu
Corector: Cristian Negoiță
DTP: Andreea Dobreci, Carmen Petrescu

Alice Roberts
The Incredible Unlikeliness of Being. Evolution and the Making of Us
Copyright © 2014 Alice Roberts
Illustrations copyright © 2014 Alice Roberts
First published in Great Britain in 2014 by Heron Books, an imprint of Quercus.
All rights reserved.

Fotografia de pe copertă © Isselee | Dreamstime.com
Composition Of Animal

© HUMANITAS, 2017, pentru prezenta versiune românească (digitală)

ISBN 978-973-50-5666-7(pdf)

EDITURA HUMANITAS
Piața Presei Libere 1, 013701 Bucureşti, România
tel. 021/408 83 50, fax 021/408 83 51
www.humanitas.ro

Comenzi online: www.libhumanitas.ro
Comenzi prin e-mail: vanzari@libhumanitas.ro
Comenzi telefonice: 0372 743 382; 0723 684 194

În memoria lui Pam Stevens, cu drag

CUPRINS

ÎNCEPUTURI
Misterul concepției și istoria scrisă în corpul nostru 9

CAPETE ȘI CREIERE
De la originea capului de vertebrată
la creșterea fenomenală a creierului uman 33

CRANII ȘI SIMȚURI
Baza pe care se formează craniul și dezvoltarea organelor
cu care percepem lumea înconjurătoare 77

VORBIREA ȘI BRANHIILE
Originile acvatice ale laringelui 115

COLOANE VERTEBRALE ȘI SEGMENTE
Tiparul vieții și evoluția coloanei în formă de S. 147

COASTE, PLĂMÂNI ȘI INIMI
Coastele strămoșilor noștri, inima și plămânii peștilor. 173

INTESTINE ȘI SACI VITELINI
Legăturile cu strămoșii ovipari
și cu primatele antropoide frugivore 199

GONADE, ORGANE GENITALE ȘI GESTAȚIE
Anatomia reproducerii
și de ce sunt neajutorați nou-născuții umani. 215

DESPRE NATURA MEMBRELOR
Înotătoare, membre și strămoși 249

DE LA ȘOLD LA DEGETELE DE LA PICIOARE
Întâi învățăm să mergem, apoi să alergăm 265

UMERI ȘI DEGETE MARI
Strămoșii cățărători și unicitatea mâinii umane 299

CUM AM APĂRUT
Locul nostru în arborele vieții 319

Mulțumiri şi lecturi recomandate 337

Lista ilustrațiilor şi indice 361

ÎNCEPUTURI

MISTERUL CONCEPȚIEI
ȘI ISTORIA SCRISĂ ÎN CORPUL NOSTRU

„Ex ovo omnia.“
(*„Din ou ies toate.“*)
WILLIAM HARVEY (1651)

Maternitatea mi-a schimbat complet perspectiva asupra lumii şi asupra mea însămi în timp şi spaţiu. Am născut primul copil în 2010 şi în clipa aceea am avut o senzaţie incredibilă, aproape mistică, de uniune – uniune cu strămoşii mei şi cu descendenţii mei. M-am simţit *mai mult* decât un individ: eram o verigă în lanţul vieţii. Pentru mine, a fost o experienţă foarte feminină. Dădeam naştere unei fiice, aşa cum şi eu mă născusem din mama mea, iar ea din mama ei şi tot aşa în negura timpurilor.

Bărbaţii care citesc cartea de faţă, deşi nu pot naşte, pot totuşi reflecta în mod similar la cromozomul lor Y, care îi leagă de o întreagă ascendenţă de strămoşi masculi. E adevărat că nu-i la fel de impresionant ca a naşte un copil, dar puţine lucruri sunt.

Ca viitoare mamă într-o ţară dezvoltată din secolul XXI, am avut şansa incredibilă de a-mi vedea amândoi copiii *înainte* să se nască. Îmi amintesc cât de fericită am fost când, la doar 12 săptămâni de sarcină, mi-am văzut pentru prima oară fetiţa cum plutea într-un mic lac de lichid amniotic. Pe atunci nici nu ştiam că era fetiţă. Era minunat s-o văd, dar exista în continuare o distanţă enormă între imaginea de pe ecran şi experienţa sarcinii.

Sunt anatomist – structura corpului uman şi dezvoltarea lui sunt de domeniul meu –, dar, oricâte ştiam despre dezvoltarea embrionului, cunoştinţele nu-mi ştirbeau senzaţia că ceea ce se petrecea înăuntrul meu era de-a dreptul miraculos. Fertilizarea este oricum incredibilă în sine, iar ideea că un ovul uman fertilizat, o singură celulă, se transformă în ceva atât de complex cum este fiinţa umană completă este uluitoare. La ecografia de 12 săptămâni, fătul deja se formase în mare parte: avea braţe şi picioare cu degete, intestine şi o inimă care bătea. Arăta ca un bebeluş miniatural. Cum ajunsese acolo, dintr-o singură celulă, cum fusese în momentul concepţiei?

E *o mare şansă* însuşi faptul că stai aici, acum, şi citeşti cartea de față. Întâlnirea părinților tăi a fost dintru început improbabilă. De atâtea ori, viețile lor ar fi putut să apuce altă cale, iar ei ar fi putut să cunoască pe altcineva. Odată începută relația, intervine şi improbabilitatea ca tocmai ACEL ovul să întâlnească ACEL spermatozoid şi să te creeze pe tine. Dar cred că senzația aceasta tulburătoare de improbabilitate a existenței nu se opreşte aici.

Dezvoltarea ovulului fertilizat, o celulă unică, într-o ființă umană este o mare şansă – un fel de miracol biologic. Dar este o minune pentru care nu e nevoie să crezi în vreo intervenție supranaturală sau divină; e un miracol natural şi, în ultimele secole, oamenii de ştiință au desluşit multe dintre secretele acestei transformări incredibile (deşi, firește, mai rămân destule de descoperit). La prima vedere, transformarea unui singur ovul într-un individ pare atât de imposibilă, atât de *improbabilă*, încât avem nevoie să ne imaginăm o mână supranaturală care îndrumă procesul, dar, odată ce îl înțelegem mai îndeaproape, ne dăm seama cum e cu putință ca moleculele, celulele şi țesuturile să formeze organele corpului nostru. Este un proces fundamental, care ne uneşte cu toate animalele de pe planetă.

Când te gândeşti la propria apariție, e aproape imposibil să crezi că ai fost cândva doar o celulă unică, un ovul fertilizat, dar *ştii* că e adevărat. Pare improbabil, dar însăşi existența ta dovedeşte că aşa au stat lucrurile. Poate îți e greu să crezi că te poți trage din strămoşi care, cu mult timp în urmă, au fost monocelulari. Dar, odată ce te împaci cu faptul imposibil de negat că tu însuți te-ai dezvoltat dintr-o singură celulă în formă embrionară, devine, poate, mai uşor să crezi că tu şi *noi*, ca specie, am avut o origine atât de umilă. În arborele genealogic mai recent (care este şi el, în fond, destul de vechi), găseşti strămoşi care erau viermi. Îți poți urmări genealogia, trasându-ți propria ascendență prin arborele stufos al vieții, până la strămoşi care erau peşti, amfibieni, reptile, mamifere primitive, primate primitive, primate antropoide – până ajungi la tine. (Apropo, şi tu eşti tot o primată, doar că una foarte specială.)

Am scris cartea aceasta nu doar ca să-i ajut pe cititori să-şi regăsească legătura cu originea lor ca oameni – din punctul în care un ovul al mamei a fost fertilizat de un spermatozoid al tatălui –, ci şi ca să-i ajut să-şi regăsească legătura cu strămoşii mai îndepărtați. În

primele câteva capitole, ne vom concentra asupra strămoşilor mai timpurii, ca viermii şi peştii, dar treptat vom ajunge la ramurile mai recente ale arborelui genealogic, iar când vom ajunge să vorbim despre extremități vom discuta despre mâinile şi picioarele strămoşilor hominizi şi ale celor mai apropiate rude primate care încă există.

Povestea dezvoltării corpului uman este (după cum sper să vă conving) cea mai fascinantă din câte ne poate oferi ştiința. Fiecare dintre noi a parcurs călătoria aceasta, de la o celulă unică la un organism complex compus din sute de tipuri de celule, care conține în total în jur de 100 de trilioane de celule. În acelaşi timp însă, fiecare dintre noi este produsul evoluției şi suntem departe de a fi o operă perfectă, aşa cum vom descoperi în continuare. Milioanele de ani de evoluție au produs un rezultat funcțional, într-adevăr, dar limitat de propria istorie şi construcție. Cu cât studiez mai mult structura şi funcționarea corpului uman, cu atât înțeleg mai bine că edificiul acesta pe care-l locuim este un amestec improvizat. Deşi genial, este totuşi imperfect. Istoria noastră evolutivă se regăseşte în moduri surprinzătoare în dezvoltarea embrionară şi chiar şi în anatomia noastră ca adulți; multe dintre defectele corpului uman nu pot fi înțelese decât în context evolutiv. Cu toate acestea, strămoşii noştri ne-au transmis şi calități, nu numai defecte; există urme ale unor strămoşi extrem de îndepărtați în organismele noastre, în embrion şi în ADN.

Biologia evoluționistă trece printr-o perioadă fascinantă, dacă o perioadă fascinantă se defineşte prin multe întrebări noi. Încă ne străduim să înțelegem dacă evoluția se petrece treptat sau în salturi şi cât de previzibilă este. Încă încercăm să aflăm în ce măsură au fost modelate forma şi funcțiile corpului nostru de natură şi creştere, în ce măsură sunt limitate de trecutul lor evolutiv şi de programul genetic care le dictează dezvoltarea şi în ce măsură au fost influențate de mediu şi de selecția naturală.

Spunând povestea „apariției noastre“ prin evoluție şi embriologie, ne vom explora propria anatomie şi ne vom cunoaşte strămoşii din trecutul evolutiv, dar şi pe acei pionieri ai ştiinței care ne vor călăuzi în această aventură. Dar personajul principal din poveste eşti, de fapt, TU. E vorba despre moştenirea *ta* evolutivă şi despre dezvoltarea *ta* embrionară, în timpul căreia ai crescut şi te-ai schimbat, iar unele părți din tine s-au împăturit ca un origami până ai căpătat formă

umană. Ca oameni, nu vom fi niciodată mai aproape de transformarea profundă din omidă în fluture. Fiecare dintre noi a trecut prin metamorfoza aceasta, de la un ovul la un disc plat, la un tub gol pe dinăuntru, la o creatură micuță cu brațe şi picioare scurte, la ceva care începea să semene a om – în răstimp de doar două luni de la concepție.

Aceasta e *cea mai bună* poveste despre creație, fiindcă este adevărată. Şi, în plus, e plină de revelații destul de bizare. În ADN-ul tău există urme ale unui strămoş pe care-l ai în comun cu musculița de oțet. La un moment dat în cursul dezvoltării, embrionului tău păreau să-i crească branhii. De asemenea, uneltele pe care au început să le făurească şi să le folosească strămoşii noştri cu milioane de ani în urmă au ajuns să le *schimbe* anatomia – au contribuit la modelarea mâinilor tale aşa cum arată ele acum. Această poveste ştiințifică, care porneşte de la dovezi din multe surse, este mai extraordinară, mai stranie şi mai frumoasă decât orice mit al creației pe care l-am fi putut noi născoci.

SCURT ISTORIC AL IDEILOR

Originea unei ființe umane noi, de fapt a oricărui organism, a fost, până nu demult, unul din marile mistere ale ştiinței. În secolul al IV-lea î.Hr., Aristotel a scris *Despre naşterea animalelor* – prima carte ştiințifică despre embriologie, în care avansa ideea că sperma masculului activează sângele menstrual al femeii, creând astfel un embrion. Deşi în ziua de azi ni se pare o ipoteză ciudată, dacă ne gândim mai bine, se bazează pe premise foarte rezonabile; presupune existența unei legături între sex şi sarcină – partea aceasta este, fireşte, adevărată. Cu mult înainte ca oamenii să privească printr-un microscop şi să vadă un ovul uman, ceea ce credeau ei despre sângele menstrual era foarte rezonabil, fiindcă menstruația se întrerupe când intervine sarcina.

Pentru mulți oameni de ştiință din secolele următoare, faptul că nu se cunoşteau alți precursori ai embrionului în afara fluidelor corporale nu era neapărat o problemă. Despre unele animale se credea chiar că se năşteau din obiecte neînsuflețite – astfel, de exemplu, muştele ar fi apărut spontan din carne putredă. Teoria dezvoltării a lui Aristotel, sau „epigeneza“, cum o numea el, propunea ideea că

un corp uman complex se poate dezvolta din amestecul unor fluide simple, ca sperma (şi să nu uităm că Aristotel nu ştia despre existența spermatozoizilor, pentru el sperma nu era decât un lichid lăptos şi omogen) şi sângele menstrual. Aproape nimeni nu avea să-i conteste teoria timp de două milenii.

„Părintele medicinei" din Grecia antică, Hipocrat, presupusese că pentru concepție erau necesare atât o sămânță bărbătească, cât şi una femeiască, dar ideea lui Aristotel – conform căreia sperma bărbatului era ingredientul esențial pentru apariția unui copil – a căpătat mai multă influență. La jumătatea secolului al XVII-lea însă, William Harvey trebuie să se fi îndoit de explicația aceasta, fiindcă a început să studieze apariția animalelor prin disecții; totuşi, deşi era convins că trebuie să existe un „ou" feminin şi chiar că acesta trebuie să vină din ovar, n-a reuşit să-l găsească.

Acum ştim cu toții cum are loc concepția; este un fapt care ține de domeniul evidenței. Dar povestea descoperirii originii vieții omeneşti este fascinantă şi a depins de capacitatea de a *vedea* ce se întâmplă – la scară microscopică. Pentru descoperirea aceasta a fost nevoie de o tehnologie care să sporească capacitatea ochiului omenesc şi să-i permită să vadă obiecte mult mai mici decât ar fi putut fără lentile suplimentare. Lupele simple existau încă din secolul al XVI-lea, dacă nu mai devreme, dar nu este clar cine a inventat primul microscop. Galileo este, probabil, mai celebru pentru inventarea telescopului, dar tot el a creat şi un dispozitiv căruia îi spunea *occhiolino* (pe atunci, „ochişor", în italiană; astăzi desemnează gestul de „a face cu ochiul"). La începutul secolului al XVII-lea, „ochişorul" lui Galileo căpătase deja numele pe care-l cunoaştem în prezent: microscop. Mai târziu în acelaşi secol, Robert Hooke avea să folosească microscopia pentru a studia detaliile ascunse ale unor ființe şi lucruri familiare – purici, urzici şi înțepături de albină – şi să-şi publice descoperirile într-o carte superbă, intitulată *Micrographia*.

În vremea aceasta, pe țărmul opus al Mării Nordului, un negustor de pânzeturi pe nume Antonie van Leeuwenhoek devenise pasionat de lentilele de sticlă foarte mici, cu ajutorul cărora construia microscoape. Privind prin lentilele miniaturale, a ajuns să vadă tot felul de detalii şi obiecte mărunte pe care nu le mai văzuse şi nu le mai înregistrase nimeni până atunci. A putut observa, astfel, alge *Volvox*, animale

planctonice minuscule, procesul de depunere a ouălor la muşte, celulele roşii din sângele uman şi detalii microscopice ale splinei, muşchilor şi oaselor.

Tot van Leeuwenhoek a fost şi primul om care a văzut un spermatozoid uman. Închipuiți-vă cât de uluit trebuie să fi fost. Ne e greu să ne imaginăm, fiindcă *noi* ştim că spermatozoizii există, dar să uităm asta deocamdată; e anul 1677, eşti van Leeuwenhoek şi te fascinează posibilitățile lumii microscopiei. Ştii că, printr-un mecanism oarecare, sperma duce la apariția copiilor, aşa că obții o mostră (detaliile legate de partea aceasta le las în seama imaginației) şi te uiți la o picătură din lichidul acela lăptos la microscop. O priveşti, uimit de imaginea care ți se arată. Tot câmpul tău vizual freamătă. Distingi celule individuale, care seamănă cu nişte mormoloci şi dau frenetic din coadă. Par a fi microorganisme, ca protistele pe care le-ai descoperit deja (şi despre care ai trimis scrisori către Royal Society[1]). Doar că „animalculii" aceştia veneau de la un om.

Lucrul cu adevărat uimitor este însă (în retrospectivă, fireşte) că nici Leeuwenhoek, nici oamenii de ştiință de la Royal Society din Londra, cărora le-a descris într-o scrisoare observațiile lui, nu şi-au dat seama imediat de importanța lor: descoperiseră jumătate din secretul concepției.

Un alt olandez are meritul că *aproape* a descoperit ovulul uman. E vorba de un medic pe nume Regnier de Graaf, care, în 1672, a publicat un tratat despre organele reproductive feminine ce includea o descriere a dezvoltării foliculilor în ovarele iepuroaicelor. Aceste mici grupări de celule, prezente şi în ovarele umane, aveau să-i poarte numele: foliculi ai lui de Graaf. Tot el a observat şi nişte sfere minuscule în trompele uterine, după spargerea foliculilor, şi a dedus că aceştia din urmă (şi sferele) trebuiau să conțină ouă. Dar ovulul mamiferelor avea să fie identificat abia în 1827.

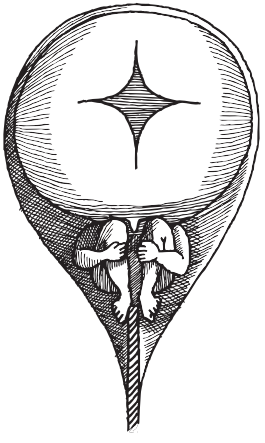
Autorul descoperirii a fost Karl Ernst von Baer. După cum ne spune şi numele, strămoşii lui erau germani, dar el s-a născut în Estonia, care în 1792 făcea parte din Imperiul Rus. Ca profesor de zoologie la Universitatea din Königsberg, von Baer a studiat embriologia şi, în 1827, a descoperit ovulul mamifer, cuibărit în foliculul lui de Graaf din ovar.

---

1. Societate a oamenilor de ştiință înființată în 1660, actualmente cu rolul de consilier ştiințific oficial pe lângă guvernul britanic (n. tr.).

Fantastic! S-ar părea că cercetătorii rezolvaseră enigma: există un ovul şi există spermatozoizi. Împreună, formează un embrion. Numai că, din nou, ideea este simplă doar din perspectiva noastră, care ştim atâtea lucruri. Poate că ideile lui Aristotel erau atât de adânc înrădăcinate, încât era imposibil să se creadă că spermatozoidul şi ovulul contribuiau în proporţie egală la procesul misterios care ducea la crearea unui nou individ. Aşadar, comunitatea ştiinţifică s-a împărţit în două tabere: ovuliştii şi spermiştii. Ovuliştii considerau sperma o simplă forţă care „trezeşte" ovulul. Spermiştii considerau ovulul o simplă sursă de hrană pentru viaţa nouă creată de spermatozoid.

Identificarea spermatozoidului şi a ovulului însemna şi desfiinţarea ideii perspectivei aristotelice asupra epigenezei, conform căreia viaţa, în toată complexitatea ei, se dezvolta cumva din fluide simple. Dar rămânea de rezolvat un mister asemănător. Cum să se dezvolte un organism complex din lucruri care păreau atât de simple, precum spermatozoidul şi ovulul? Pentru mulţi oameni de ştiinţă din secolele al XVII-lea şi al XVIII-lea, răspunsul stătea în teoria preformaţionistă. Potrivit acestei teorii, complexitatea exista deja, în miniatură, în precursorul embrionului (ovulul sau spermatozoidul, în funcţie de tabără – ovulişti sau spermişti). Versiunea dusă la extrem a teoriei sugera că în spermatozoid era prezentă o persoană întreagă, gata formată – un „homuncul" minuscul. Şlefuitorul de lentile olandez Nicolas Hartsoeker (care a



Homuncul – după Hartsoeker

învățat meserie de la Leeuwenhoek) a desenat un astfel de homuncul, strâns ghemuit în partea de sus a spermatozoidului.

Filozoful şi preotul francez Nicolas Malebranche a dus şi mai departe ideea preformaționistă. În 1674, a propus o teorie numită *emboîtement*, conform căreia fiecare individ îşi începe existența închis „ca în cutie“ în ovulul mamei. Scria:

> „În germenele bulbului de lalea se vede laleaua întreagă. Iar în germenele unui ou proaspăt se vede […] un pui, poate, format pe de-a-ntregul.“

Malebranche conchidea că „toate trupurile de oameni şi animale care s-au născut vreodată […] au fost făcute, pesemne, încă de la facerea lumii“. Cu alte cuvinte, toți oamenii care au trăit (şi vor trăi) vreodată existau deja, în formă miniaturală, cuibăriți în ovarele Evei – cea mai formidabilă matrioşkă rusească. Teoriei preformaționiste i se spunea pe atunci „evoluție“, termen adecvat, întrucât înseamnă „desfăşurare“ sau „depănare“. În ziua de azi, fireşte, cuvântul are cu totul alt sens. Poate că *emboîtement*-ul chiar le părea posibil unor oameni care credeau că lumea nu era mai veche de câteva mii de ani. În plus, toate acestea se petreceau înainte ca teoria celulelor să stabilească o limită inferioară de mărime, aşa că existența unor astfel de ființe minuscule, preformate, părea verosimilă.

Dar cele de mai sus nu înseamnă că primii embriologi credeau cu toții într-o formă atât de radicală de preformaționism. Oricine privise un embrion în primele stadii la microscop ştia că nu arată ca un individ minuscul, preformat – cel puțin nu în primele câteva săptămâni de viață. Unele din aspectele mai radicale ale preformaționismului ni se par ridicole în ziua de azi, dar adepții săi aveau dreptate într-un fel, fiindcă îşi bazau argumentul pe ideea că nu era cu putință ca un organism complex să apară din ceva complet neorganizat, complet omogen. Aveau dreptate, fireşte; numai că avea să mai treacă ceva vreme până să fie descoperită molecula care conținea informația necesară pentru formarea unui corp cu totul nou.

ÎNCEPUTURILE TALE

Acum înțelegem mult mai bine ce procese implică dezvoltarea unui om nou. Identitatea genetică a noului individ s-a hotărât în clipa în care unul dintre spermatozoizii tatălui a înotat printr-unul din oviductele trompelor uterine ale mamei şi a întâlnit un ovul care cobora spre uter.

Să ne imaginăm ovulul cu pricina: a ieşit din ovarul în care a crescut, împreună cu un grup de celule mai mici. A intrat în gura ca o pâlnie a oviductului, tivită cu fimbrii, formațiuni în formă de degete, iar acum se deplasează cu ajutorul cililor minusculi, ca nişte fire de păr, care căptuşesc oviductul şi se unduiesc ca să creeze un curent în fluidul din trompă.

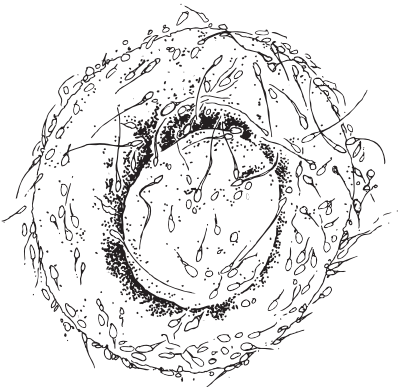
Acum să ne închipuim un spermatozoid care înoată din răsputeri, bătând violent din coadă, urcând prin canalul cervixului şi prin cavitatea uterină şi intrând în oviduct (trompa falopiană). Probabil i-au trebuit câteva zile să ajungă aici. Spermatozoidul acesta ajunge primul la ovul, printr-un amestec de noroc şi putere; la o singură ejaculare se eliberează în vagin câteva sute de milioane de spermatozoizi, dar, deşi au ajuns departe față de locul lor de origine, testiculele, încă mai au cale lungă de străbătut. Mulți vor muri înainte să apuce să iasă din vagin în coridorul îngust care trece prin strâmtoarea de la intrarea în uter, numită cervix. Dacă nu este perioada propice din lună, mucoasa lipicioasă din cervix formează o barieră care împiedică spermatozoidul să înainteze. Dar în perioada ovulației mucoasa cervicală devine mai alunecoasă şi mai fibroasă. (Aceasta este o metodă foarte veche de a estima zilele de fertilitate optimă din ciclul menstrual al femeii. Mucoasa cervicală, care până atunci a fost densă şi lipicioasă, capătă o consistență elastică, asemănătoare cu albuşul de ou. În germană, proprietatea aceasta se numeşte „*spinnbarkeit*“, „care se poate toarce“.) În cursul călătoriei prin cervixul uterin spre cavitatea dinăuntru, tot mai mulți spermatozoizi vor rămâne în urmă, în timp ce altora mediul acesta le va prii şi vor bate din coadă şi mai puternic, înotând tot mai sus şi mai sus, până intră într-unul din oviducte. Ovulul trimite semnale chimice ca să ajute spermatozoizii să aleagă oviductul corect. Numărul de spermatozoizi care ajung efectiv la ovul reprezintă o fracțiune minusculă din cei ejaculați. Se poate să nu

ajungă atât de departe decât un spermatozoid dintr-un milion. Dar competiția e departe de a se fi sfârşit.

La ovul ajung sute de spermatozoizi aproape în acelaşi timp; acesta e înconjurat din toate părțile de celulele minuscule, dar nu are nevoie decât de una. Unele vor trece de *cumulus oophorus* – haloul de celule din jurul ovulului, care au rămas ataşate de el de la ovulație, când s-a desprins din ovar. Odată ce trec de acesta, spermatozoizii ajung la *zona pellucida*, un strat gros, gelatinos, care înconjoară membrana ovulului. De-aici nu mai există scăpare; zona pellucida îi prinde în capcană. Capetele spermatozoizilor rămân împotmolite în gel: proteinele zaharoase din gel se ataşează de receptorii proteinici din membrana spermatozoidului, ca nişte chei microscopice care ar intra în broască. Iar cheile acestea chiar descuie ceva: declanşează eliberarea de enzime din vârful spermatozoidului, ceea ce-i permite acestuia să penetreze zona şi să ajungă la membrana celulară a ovulului propriu-zis. Acum, membrana spermatozoidului este în contact cu cea a ovulului. Membranele fuzionează, iar cele două celule – spermatozoidul minuscul şi ovulul – se unesc într-una singură.

Iată momentul concepției: evenimentul acesta extraordinar, care se petrece însă zi de zi în lume, undeva în adâncul întunecat al corpului mamei. Dar e bine să nu uităm că ovulul fertilizat *nu* este o persoană. Este doar o celulă. Nu există nici o garanție în etapa aceea că celula respectivă va ajunge un organism întreg. Doar în retrospectivă poți spune: atunci am apărut eu.

În clipa contactului, când fuzionează membrana spermatozoidului şi cea a ovulului, se întâmplă trei lucruri. Spermatozoidul continuă să înoate spre interiorul ovulului, lăsându-şi în urmă membrana – simplă carapace abandonată la suprafața ovulului. În interiorul acestuia, aproape de membrana care-l îmbracă, se află săculeți minusculi cu compuşi chimici care, acum, se contopesc cu membrana ovulului şi îşi golesc conținutul în spațiul aflat imediat sub zona pellucida, ceea ce o transformă şi o întăreşte, astfel încât să nu mai ajungă nici un spermatozoid să fuzioneze cu ovulul. Este o etapă importantă: ovulul nu are nevoie decât de un set de cromozomi ca să şi-i completeze pe ai săi – 23 de cromozomi, care să formeze perechi cu cei 23 pe care îi are deja. Dacă ar mai fertiliza ovulul şi alți spermatozoizi, ar ajunge în el mai multe seturi de cromozomi, iar şansele de dezvoltare a unui embrion viabil ar deveni nule.

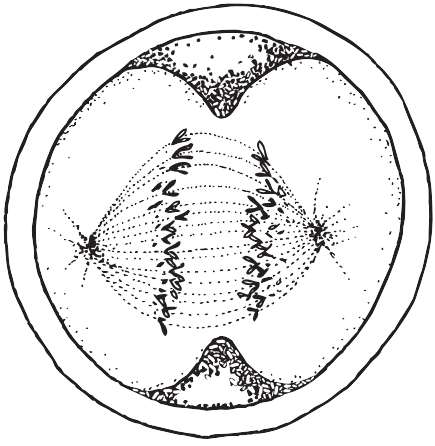


Spermatozoizi care ajung la ovul

În cele din urmă, când spermatozoidul intră în ovul, ADN-ul matern trece printr-un ultim stadiu de pregătire înainte de formarea perechilor între cromozomii materni şi cei paterni.

Pe măsură ce înoată spre interiorul ovulului, coada spermatozoidului se desprinde şi se dezintegrează. La scară microscopică, procesul seamănă cu lansarea unui satelit pe orbită. Odată ajunsă racheta la destinație, vehiculul de lansare se detaşează de încărcătură – satelitul în sine. În interiorul ovulului, încărcătura este capul spermatozoidului, care conține un pachet de cromozomi şi reprezintă informația esențială necesară pentru ca ovulul să devină embrion. Pachetul de material genetic începe să se umfle pe măsură ce cromozomii sunt eliberați. Apoi se desface, ca un fermoar, lanțul dublu al ADN-ului din care se compune fiecare cromozom – aici intervine magia ADN-ului. Minusculele elemente de bază ale ADN-ului (numite nucleotide) se ataşează de fiecare jumătate a „fermoarului“, până când se formează două fermoare. La fel se dublează şi pachetul de cromozomi al ovulului. Apoi, ambele pachete – unul provenit din ovul, celălalt din spermatozoid, fiecare conținând un set dublu de cromozomi – se lipesc unul de altul şi se contopesc. Astfel se întâlnesc pentru prima oară ADN-ul din ovul şi cel din spermatozoid – de la mamă şi de la tată.

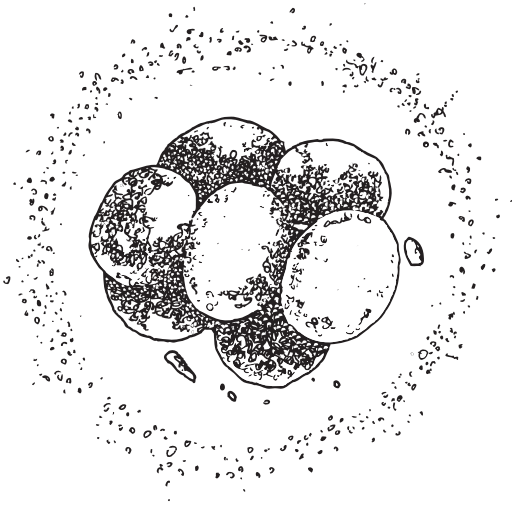
Acum s-au format 46 de perechi de cromozomi, care constituie deja suficient ADN pentru două celule. Cromozomii dubli se aliniază în centrul ovulului, ca şi cum ar forma perechi pentru un dans. Se



Perechile de cromozomi se separă pe fus, în prima etapă a diviziunii ovulului.

adună pe o schelă numită fus, compusă din tuburi de proteine incredibil de subțiri. Apoi, fiecare cromozom dublu se despică în două şi cei doi cromozomi care rezultă se îndepărtează unul de celălalt, deplasându-se spre capetele fusului-schelă. În acelaşi timp, membrana ovulului fertilizat, înăuntrul căruia se petrec toate acestea, se subțiază la mijloc până capătă formă de clepsidră. În cele din urmă, se secționează complet la mijloc şi se nasc două celule. Au trecut circa 24 de ore de la momentul fuzionării spermatozoidului cu ovulul. La sfârşitul primei tale zile de viață, eşti alcătuit din două celule.

Dar nu e timp de odihnă, fiindcă fiecare celulă munceşte din greu. ADN-ul se dublează din nou, iar celulele se divid. Trei zile mai târziu, eşti un ghem compus din 16 celule. Te descrie exact şi poetic termenul tehnic pentru ceea ce ai devenit: „morulă“, din cuvântul latinesc care înseamnă „mură“. Mai mult, în tot acest timp n-ai stat pe loc. Împins de valurile de contracții ale peretelui de mușchi al oviductului şi de cili, firicele minuscule care se unduiesc pe interiorul trompei uterine, ai ajuns aproape de cavitatea uterului. Chiar dacă acum nu eşti decât un ghem de celule, cele de la exterior şi cele de la interior au deja destine diferite. Celulele externe vor contribui la formarea placentei, mecanismul care te va ține în viață cât eşti în pântecul mamei; celulele interne te vor forma pe tine, embrionul.



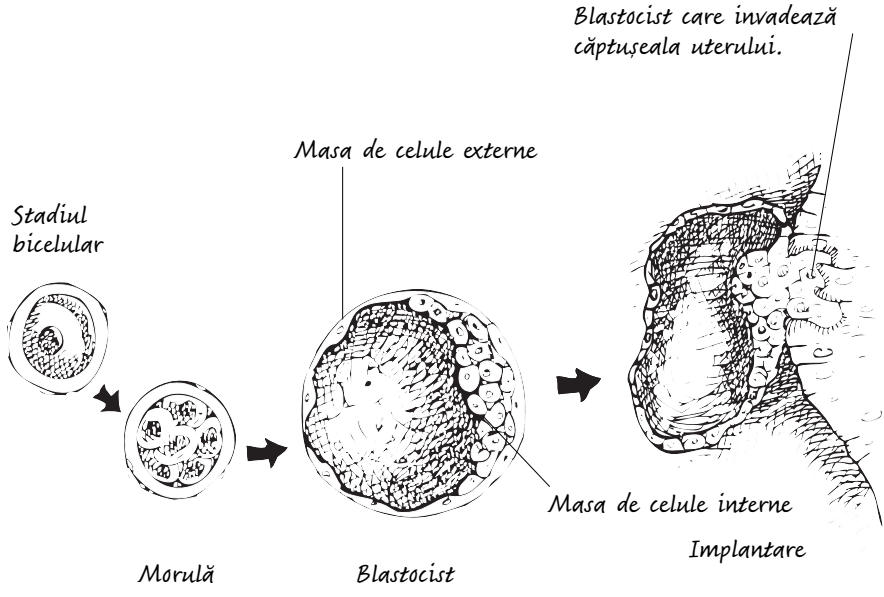
Morulă

La doar o săptămână după fertilizare, când ajungi să pluteşti în uter, în interiorul ghemului de celule apare un spațiu umplut cu lichid. Nu mai eşti o morulă; acum eşti blastulă, sau blastocist – termen care provine din cuvintele greceşti însemnând „sec“ şi, respectiv, „germen“. Masa internă de celule nu este răspândită uniform înăuntrul masei exterioare, ci este aglomerată la un capăt al blastocistului. Te-ai polarizat. Poate că nu pare o schimbare importantă, dar distribuția inegală a celulelor înseamnă că embrionul în dezvoltare are de-acum o orientare. Indiferent care e capătul orientat în sus al blastocistului ce pluteşte în fluidul din oviduct, acesta are acum o orientare *internă*. Celulele din masa internă care se află acum în jurul noii cavități vor avea o altă soartă decât cele dinspre margine.

E vremea să se încheie scurta ta călătorie de vreo zece centimetri. Ai ajuns la căptuşeala interioară a uterului şi, aproape imediat, celulele tale exterioare încep s-o invadeze, ceea ce marchează începutul formării placentei.

În embriologie pot apărea nenumărate ocazii în care ceva să nu meargă bine. Cu cât organismul este mai complex, cu atât sunt mai mari şansele ca dezvoltarea lui s-o apuce pe-o cale greşită. De fapt, încă de la începutul dezvoltării, înainte ca lucrurile să se complice, se pot ivi o multitudine de erori fatale, iar una dintre ele are în vedere

locul unde se opreşte blastocistul. E posibil ca acesta să se fi ataşat cum trebuie, dar lucrurile nu se întâmplă întotdeauna aşa. Blastocistele pot rămâne blocate în oviduct sau, mult mai rar, pot lua o cale greşită, ajungând într-o cavitate din corpul mamei, unde vor încerca, totuşi, să se ataşeze. Fenomenul se numeşte sarcină ectopică („plasată în afară", în greacă). Dacă uterul este făcut să crească odată cu embrionul, alte țesuturi nu sunt la fel de cooperante. Sarcina extrauterină poate fi o eroare foarte periculoasă: un embrion în creştere rămas în oviduct are toate şansele să ducă la ruperea vaselor de sânge şi să provoace sângerări interne dezastruoase. Dacă nu se intervine chirurgical, astfel de hemoragii sunt, de multe ori, fatale.



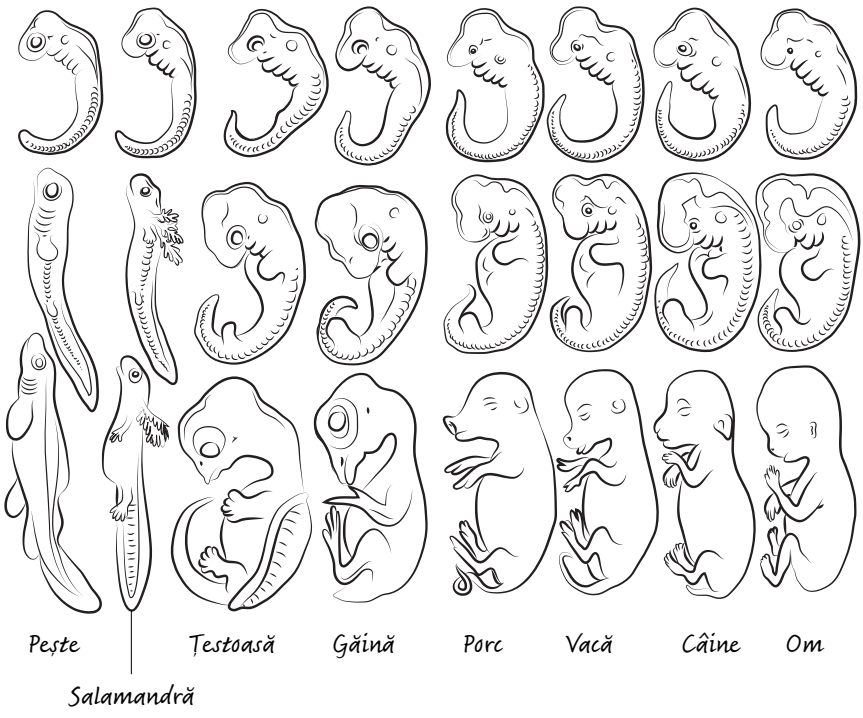
Prima săptămână de dezvoltare: de la embrionul bicelular la morulă, la blastocist și la implantarea în uter.

Acum, în retrospectivă, ştim că tu-blastocistul te vei fi prins cum trebuie de peretele uterin al mamei. Odată cu cea de-a doua săptămână de dezvoltare, celulele din masa internă (care se înmulțesc în continuare) se dispun în două straturi: unul superior (epiblast) şi unul

inferior (hipoblast). Diferențierea depinde de poziția celulelor în raport cu cavitatea blastocistică. Celulele din hipoblast se răspândesc, formând un strat pe interiorul cavității inițiale. De acum înainte, spațiului i se va spune sacul vitelin, sau „sacul cu gălbenuș“, deși nu conține nici un gălbenuș, fiindcă tu eşti un mamifer cu placentă, care nu are nevoie de altă sursă de nutrienți. Descoperim aici însă ceva foarte important despre cum se formează embrionul. Evoluția nu „proiectează“ nici un organism pornind de la zero. Totul ține de a ajusta şi a potrivi ceea ce există deja. Prin urmare, unele aspecte ale moştenirii tale evolutive se vor regăsi în dezvoltarea embrionară. Faptul că, în stadiul de embrion minuscul, *ai avut* un sac cu gălbenuș, fie el mic şi lipsit propriu-zis de gălbenuș, dezvăluie ceva despre ascendența ta şi despre legăturile dintre embriologie şi evoluție. Deşi eşti un mamifer placentar, ai avut totuşi strămoşi care făceau ouă, iar dezvoltarea ta embrionară păstrează urmele acelor strămoşi.

Se mai întâmplă ceva în a doua săptămână de dezvoltare: începe să apară în stratul exterior al celulelor din blastocist un spațiu nou – cavitatea amniotică. La început, cavitatea este orientată spre o latură a embrionului în dezvoltare; acesta este însă sacul cu lichid care te va înconjura şi în care vei pluti până te naşti. Între cele două spații pline cu lichid (cavitatea amniotică şi sacul vitelin) se află un disc puțin neregulat, cu două straturi: epiblastul şi hipoblastul. Mai e încă mult până să începi să arăți fie şi vag uman, dar până atunci vei semăna cu embrionii în dezvoltare a tot felul de alte animale. Într-a patra săptămână de la concepție, embrionul uman seamănă foarte mult cu un embrion de peşte aflat într-un stadiu asemănător de dezvoltare. În săptămâna a cincea, când încep să-ți crească membre, eşti aproape imposibil de deosebit de un embrion de găină, iar două săptămâni mai târziu semeni încă cu aproape oricare alt embrion de mamifer. Ai putea fi luat drept embrion de porc, câine sau şoarece, deşi forma capului şi cele cinci degete de la mâini şi picioare arată că eşti o primată.

Aşadar, sacul cu gălbenuș nu e singurul care trimite la trecutul tău evolutiv. Asemănările trecătoare ale embrionului cu strămoşi preistorici şi cu alte animale încă existente au dus la una din cele mai infame teorii din istoria embriologiei: teoria recapitulării.



Desen preluat din ilustrația lui Haeckel privind diversele stadii de dezvoltare embrionară la opt animale

Dacă privim embrionii în stare incipientă ai diverselor specii, devin de netăgăduit manifestările unor „ecouri“ ale evoluției. Embrionul uman trece printr-un stadiu în care are nişte componente ce seamănă foarte mult cu forma primordială a branhiilor de peşte şi printr-un alt stadiu în care inima seamănă cu inima embrionului de peşte. Să fie oare posibil ca embrionii umani să-şi „amintească“ sau să „recapituleze“ trecutul său evolutiv?

Ernst Haeckel, care a lucrat şi a scris în Germania în a doua jumătate a secolului al XIX-lea, a fost un deschizător de drumuri în biologie şi a descoperit şi a denumit multe specii, dedicându-se sprijinirii ideilor lui Darwin despre evoluție. A rămas în istorie şi ca inventato-

rul teoriei recapitulării (privință în care s-a înşelat teribil), deşi n-a fost primul om de ştiință căruia i-a venit această idee.

Aristotel clasifica organismele în funcție de gradul lor de complexitate şi perfecțiune şi era de părere că omul trecea prin stadii asemănătoare în faza embrionară, pentru a ajunge în cele din urmă la perfecțiune – ca om, fireşte. De fapt, Aristotel nu făcea decât să traseze o analogie între diversele stadii de dezvoltare embrionară şi clasificarea după care ordona el regnul animal, în funcție de complexitate.

Clasificarea aceasta liniară a animalelor – a tuturor animalelor – a fost o idee extraordinar de influentă. Adepții teoriei preformaționiste (care-şi imaginau o persoană întreagă ghemuită în spermatozoid sau ovul) considerau că întreaga istorie a vieții pe Pământ exista *in nuce* în clipa creării lumii, iar de atunci n-a făcut altceva decât să se depene. Totul era prestabilit şi toate organismele erau legate între ele în marele lanț al vieții, în *scala naturae*. Exista o înlănțuire de forme tot mai complexe, tinzând spre perfecțiune, care-şi atingeau apogeul, fireşte, în Omul civilizat.

Spre sfârşitul secolului al XVIII-lea şi începutul secolului al XIX-lea, biologii din şcoala germană numită *Naturphilosophie* respingeau ideea că evoluția funcționa în mod predeterminat, dar erau convinşi în continuare că se deplasa într-o direcție foarte specifică: spre o tot mai mare complexitate şi spre conştiință. Din nou, Omul era în vârful piramidei. Ideea recapitulării i-a venit unuia dintre aceşti *Naturphilosophen*: medicul şi embriologul Johann Friedrich Meckel. Numele lui se leagă de două structuri embrionare despre care învață orice student la medicină: cartilajul Meckel (situat în mandibula în dezvoltare) şi diverticulul Meckel (curbura unei mici porțiuni din intestin). Meckel vedea o legătură profundă între marele lanț al formelor de viață şi felul în care un embrion aparent simplu devenea din ce în ce mai complex pe parcursul dezvoltării sale. În opinia lui, embrionii treceau de fapt printr-o recapitulare a evoluției, accelerată şi la scară foarte mică.

Nu toți *Naturphilosophen* au adoptat ideea recapitulării. Karl Ernst von Baer, care a descoperit ovulul mamifer, a identificat, studiind embrioane de pui, câteva hibe importante ale teoriei: în primul rând, embrionii nu semănau niciodată perfect cu adulții altor specii de

animale; în al doilea rând, structurile nu apăreau în embrion „în ordine“, după succesiunea din *scala naturae*; în al treilea rând, şi cel mai important, von Baer a observat că dezvoltarea embrionară însemna, de fapt, că ceva foarte simplu devenea mult mai complex. Cum până şi animalele „primitive“, ca peştii, sunt, de fapt, foarte complexe, recapitularea pur şi simplu nu avea sens. Dar, respingând teoria recapitulării, von Baer descoperise din întâmplare o lege reală şi fundamentală a dezvoltării biologice: diferențierea. Observase cu ochii lui la embrionii de pui cum se dezvoltă un organism complex din începuturi simple.

Toate teoriile acestea privitoare la dezvoltare apărute în prima jumătate a secolului al XIX-lea porneau de la un cadru teoretic care, în curând, avea să fie desființat. Cadrul acesta era creaționismul biblic, care implica şi dogma imutabilității speciilor. Cu alte cuvinte, structurile comune embriologiei şi animalelor adulte erau semnul unui plan divin.

În 1859, Charles Darwin a publicat *Originea speciilor prin selecție naturală*, şi complexa tapiserie a biologiei a fost aşezată într-o ramă nouă. De fapt, teza centrală din *Originea speciilor* fusese lansată în lume cu un an înainte, când Darwin şi Alfred Russel Wallace supuseseră atenției Linnean Society[1] din Londra un articol pe care-l scriseseră împreună. În mod ciudat pentru noi, cei de azi, articolul nu a făcut prea mare vâlvă, dar *Originea speciilor* a făcut imposibil de trecut cu vederea ideea evoluției prin selecție naturală. Ideile de până atunci despre o succesiune a speciilor imutabile pe *scala naturae* erau înlocuite de succesiuni *reale* de specii care evoluau în timp, ca ramurile unui arbore al vieții (deşi ideea liniarității n-avea să dispară prea uşor şi rezistă până în ziua de azi).

În *Originea speciilor*, Darwin scria despre asemănările izbitoare dintre embrionii diverselor animale, ilustrându-şi argumentul cu o anecdotă despre celebrul anatomist Louis Agassiz, care, „uitând să anexeze numele unui embrion de animal vertebrat, n-a mai ştiut dacă îi aparține unui mamifer, unei păsări sau unei reptile“[2]. Darwin şi-a

1. Societate dedicată studiului istoriei naturale, înființată în 1788, aflată sub patronajul reginei Elisabeta II a Angliei (n. tr.).

2. Pentru ed. rom., v. Charles Darwin, *Originea speciilor prin selecție naturală sau păstrarea raselor favorizate în lupta pentru existență*, trad. de Ion E.

dat seama că din asemănările dintre embrioni putea desprinde indicii importante despre relațiile evolutive dintre animale – indicii ascunse, mai târziu, de apariția adaptărilor specifice la animalul adult. Din perspectiva creaționistă asupra biologiei, similaritățile dintre embrioni (şi adulți) erau semnul legăturii abstracte dintre animale în concepția creatorului. În noua paradigmă evolutivă, asemănările respective indicau legături reale, fizice, între strămoşi şi descendenți.

În Germania, Ernst Haeckel a fost un mare susținător al teoriei darwiniste a evoluției şi a scris el însuşi cărți de succes în domeniile biologiei, morfologiei şi evoluției. În ciuda obiecțiilor lui von Baer, teoria recapitulării era încă influentă la jumătatea secolului al XIX-lea, iar Haeckel i-a dat o turnură evoluționistă. Haeckel credea că schimbarea apărea în evoluție prin adăugarea de modificări noi la finalul dezvoltării embrionare. Aşadar, embriogeneza organismului ar fi reflectat întocmai etapele dezvoltării sale evolutive. Cu alte cuvinte, un embrion uman, de exemplu, ar fi trebuit să treacă prin stadii în care să semene cu un peşte, un amfibian şi o reptilă înainte să înceapă să arate a mamifer. Haeckel a rezumat ideea prin expresia „ontogenia recapitulează filogenia“ – altfel spus, dezvoltarea embrionară este o recapitulare a istoriei evolutive.

Teoria recapitulării a lui Haeckel, cunoscută ca legea biogeneticii, a devenit incredibil de populară şi mulți biologi s-au lăsat convinşi de rezonanța dintre ontogenie şi filogenie, explicată atât de frumos de recapitulare. Dar steaua acestei teorii avea să pălească în mod spectaculos. Spre începutul secolului XX, dezvoltarea embriologiei experimentale şi apariția unei noi ştiințe a moştenirii biologice, numită „genetică“, i-au dat lovitura de grație teoriei lui Haeckel. Embriologii au început să examineze mecanismele dezvoltării, permutând elemente ale embrionilor amfibieni în stadii timpurii de dezvoltare, pentru a studia rezultatele. Geneticienii au arătat că schimbările noi nu interveneau pur şi simplu la finalul dezvoltării embrionare: genele sunt prezente încă din momentul concepției, iar mutațiile pot afecta dezvoltarea în

---

Fuhn, Editura Academiei R.P.R., Bucureşti, 1957: „Păstrez în alcool doi embrioni mici, ale căror nume am uitat să le anexez şi în momentul de față nu pot să spun în nici un chip cărei clase aparțin. Poate că sunt şopârle sau păsări mici sau mamifere“. Traducerea românească se bazează pe o altă versiune, care îi atribuie chiar autorului anecdota (n. tr.).

orice etapă. Ideile cruciale pe care se întemeia teoria recapitulării – anume că trăsăturile suplimentare nu se puteau adăuga decât *la sfârşitul* dezvoltării embrionare şi că embrionii treceau prin stadii care corespundeau cu strămoşii lor *adulți* –, nu mai stăteau în picioare.

Prăbuşirea dramatică a teoriei recapitulării a dat subiectului un caracter delicat. A-i pomeni numele e aproape o blasfemie. În ziua de azi, a căpătat o reputație atât de proastă, încât nu mai pare să servească decât drept poveste moralizatoare. Dar *există* paralele între dezvoltarea embrionară şi istoria evolutivă. Haeckel se înşela: animalele nu conțin, comprimate în embrion, echivalentele strămoşilor lor adulți. Dar von Baer (care, în tot acel tumult, fusese aproape uitat) şi Darwin au avut dreptate. Asemănările dintre embrioni erau rezultatul ascendenței lor comune.

Atât Darwin, cât şi Alfred Russel Wallace au ajuns la teoria evoluției prin selecție naturală analizând, în mare, variațiile din anatomia şi fiziologia (şi dezvoltarea embrionară) animalelor vii. Este un fapt extrem de important şi adesea trecut cu vederea de creaționişti, fiindcă înseamnă că teoria evoluționistă nu depinde de fosilele descoperite şi nici de progresele ştiințifice făcute din perioada victoriană încoace. Cea mai elegantă explicație pentru tiparele întâlnite la animalele contemporane cu noi este că sunt toate înrudite între ele: sunt ramificații din arborele enorm al evoluției vieții. În a doua jumătate a secolului al XIX-lea, biologii şi geologii ştiau cu certitudine că animalele dispărute, pe care le cunoşteau prin intermediul fosilelor, făceau şi ele parte din marele arbore. Dar, de la apariția lucrării lui Darwin şi Wallace în 1858, s-au făcut descoperiri extraordinare: o mulțime de organisme fosile, dispărute între timp, care sunt, de fapt, verigile de legătură între diverse grupuri de animale. Avem astăzi fosilele unor peşti cu înotătoare asemenea membrelor, ca *Tiktaalik*, şi fosile de amfibieni timpurii, ca *Acanthostega*, la care putem vedea cum arătau primele membre. Avem dinozauri cu pene, care ne ilustrează originea păsărilor. Avem strămoşi fosili ai balenelor, care încă mai au picioare. Avem fosile de reptile care arată ca nişte strămoşi ai mamiferelor. În prezent, cunoaştem în jur de douăzeci de specii de hominizi fosile: un arbore genealogic vechi de şase milioane de ani, populat cu maimuțe bipede, printre care se numără şi strămoşii noştri.

Nu numai că avem astăzi un întreg tezaur de dovezi fosile, dar putem examina structura oricărui organism mult mai amănunțit decât

ar fi îndrăznit să viseze cercetătorii perioadei victoriene, cu ajutorul unor tehnici ca microscopia electronică şi imunohistochimia –, colorarea celulelor în funcție de proteinele specifice pe care le produc. Mai mult, s-au făcut, desigur, progrese enorme în înțelegerea caracteristicilor moştenite, odată cu descoperirea ADN-ului, elucidarea funcției genelor (domeniu de studiu de mare importanță, în care cercetările continuă) şi citirea genomului (un alt domeniu în stadiu poate nu chiar embrionar, dar oricum incipient).

Embriologia în sine a luat un nou avânt datorită progreselor din histologie şi genetică. Experimentele din a doua jumătate a secolului XX au început să explice cum „hotărăsc" celulele ce țesuturi vor constitui sau unde vor ajunge în corp. Studiul embriologiei s-a schimbat după descoperirea ADN-ului, „codul vieții" – acum nu se mai ocupa doar cu descrierea *modului* de formare a embrionului în timp, ci şi cu determinarea genelor care dictează procesul de formare. Dacă von Baer, privind la microscop, putea găsi asemănări între diverşi embrioni care aveau să devină animale foarte diferite – găini, peşti, oameni –, analiza ADN-ului a scos la lumină un filon de similarități mai profund, înscris în codurile genetice ale animalelor.

Ştiința embriologiei în forma ei modernă arată cum se face tranziția de la codul genetic al organismului la proteinele care alcătuiesc corpul. Acum nu mai avem la dispoziție doar anatomia pentru a reconstitui arborele vieții, ci putem merge mai în profunzime, cu ajutorul embriologiei comparative şi al genomicii comparative. Arborii genealogici ai speciilor construiți din secvențe de ADN ne oferă mai multe informații despre istoria evolutivă decât cei bazați exclusiv pe anatomie. Acest amestec nou de embriologie, genetică şi evoluție (numit „EvoDevo") are puterea de a răspunde la întrebări importante despre dezvoltarea embrionară şi istoria evolutivă a organismelor. În ziua de azi, noua generație de embriologi, deşi respinge cu tărie legea biogeneticii a lui Haeckel, descoperă tot mai multe legături între ontogenie şi filogenie, între embriologie şi evoluție.

Cu cât înțelegem mai bine asemănările dintre noi şi alte animale – în anatomia noastră ca adulți, în dezvoltarea noastră embriologică şi în codul nostru genetic –, cu atât vom înțelege mai bine care este locul nostru în marele arbore al vieții – *arbor naturae*. Nu suntem decât o ramificație în acest arbore, nu destinația supremă a evoluției (care, de altfel, nici nu există). Dacă ne cercetăm cu atenție din punct de

vedere anatomic, ne vom da seama că nu suntem nicidecum „apogeul evoluției“, cum ne-ar plăcea să ne considerăm. Suntem departe de a fi o creație perfectă; suntem mai degrabă o sumă de elemente eterogene, rezultatul a milioane de ani de ajustări mărunte. Dar, din punctul de vedere al selecției naturale, suntem suficient de buni, motiv pentru care existăm şi în ziua de azi.

Embriologia şi evoluția explică de ce este corpul nostru aşa cum este. Structura şi funcționarea corpului nostru adult sunt rezultatul dezvoltării noastre embrionare şi al trecutului nostru evolutiv. Suntem, din cap până în picioare, întruchiparea vie a istoriei evoluției noastre.

CAPETE ŞI CREIERE

DE LA ORIGINEA CAPULUI DE VERTEBRATĂ LA CREŞTEREA FENOMENALĂ A CREIERULUI UMAN

„Lumea mă întreabă de multe ori cum a ajuns să mă intereseze creierul; răspunsul meu retoric este: «Cum să NU mă intereseze?» Din el se naşte tot ce numim «natură umană» şi conştiinţă.“

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN

PRIMUL CAP

Întrebarea poate părea ciudată, dar te-ai gândit vreodată *de ce* ai cap? Evident, nu e o caracteristică strict umană: capete au şi cele mai multe dintre animalele cu care suntem obişnuiți. În orice caz, a avea cap pare o condiție necesară dacă eşti vertebrată: fie că eşti peşte, amfibian, reptilă, pasăre sau mamifer. Au cap şi multe nevertebrate, dar nu toate. Pentru a răspunde la întrebarea „de ce avem cap?“ ne-ar fi de folos să ştim *când* şi-au dezvoltat strămoşii noştri detaliul acesta anatomic.

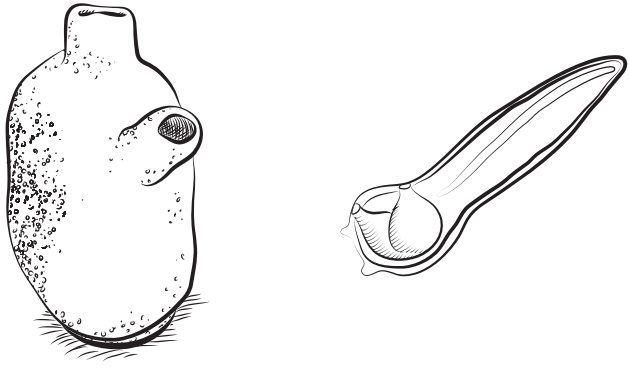
Credeam că am aflat răspunsul la această întrebare la lecțiile de biologie din şcoală. Acolo am învățat că vertebratele au evoluat din organisme mult mai simple, asemănătoare cu ascidiile[1] din ziua de azi, veri apropiați ai vertebratelor. Deşi sunt convinsă că pe undeva trebuie să existe un zoolog fascinat de ascidii, cred că, mai ales, în comparație cu vertebratele, aceste animale sunt sedentare şi plictisitoare. Creaturile acestea aproape neanimate zac pe fundul mării, fără vreun scop anume, absorbind apa şi filtrând micile particule de hrană din ea.

Din dorința de a-mi aprofunda cunoştințele de anatomie comparată, m-am apropiat odată de o ascidie, pe când filmam pentru BBC. Eram aproape de coasta unei insule mici, aproape pustii, pe nume Mnemba, la est de Zanzibar; oceanul era azuriu, incredibil de limpede, iar noi venisem cu tuburile de respirat şi camera de filmat subacvatică. Am sărit din barcă în apa neverosimil de albastră, cu masca şi tubul, şi mi-am scufundat capul. Nu mai făcusem niciodată snorkeling într-un recif de corali, iar priveliştea care m-a întâmpinat

1. Animale marine cu corpul în formă de sac (n. tr.).

mi-a tăiat răsuflarea. Mi-am ridicat privirea şi le-am strigat celor din barcă: „Sunt *sute* de peşti aici!“ Pentru ceilalți nu era ceva nou – sau, oricum, erau mult prea nonşalanți ca să se molipsească de entuziasmul meu, dar n-aveam de gând să-i las să-mi strice bucuria.

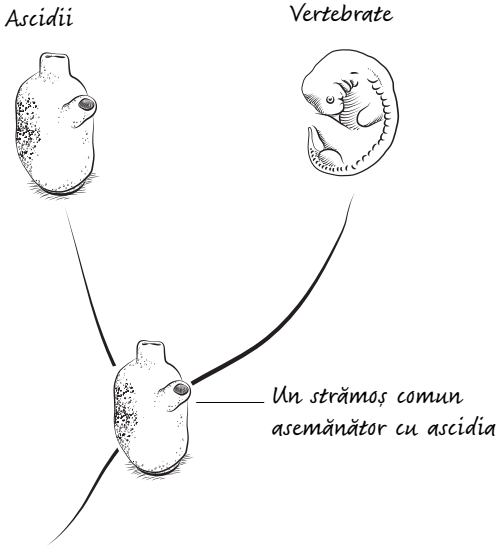
M-am scufundat vreo patru metri, până la recif, am căutat o ascidie, în cele din urmă am găsit una şi am dus-o la mal într-o găleată. Analizând creatura moale, de dimensiunea unui cartof mai mic (şi nu cu mult mai interesantă), am văzut în carnea ei elastică două orificii. Li se spune, delicat, sifoane, dar la orice alt animal sunt denumite gură şi anus. Între cele două orificii, ascidiile au un intestin foarte simplu, în formă de U. Absorb apa prin gură (sifonul bucal), iar particulele de plancton rămân prinse în mucusul din interiorul intestinului, în timp ce apa trece mai departe şi se elimină prin celălalt sifon, cel atrial. Ascidiile nu au organe de simț speciale, cum ar fi ochii, dar percep lumea din jur pe căi mai subtile, cu receptori presărați pe toată suprafața corpului, care reacționează la lumină, la atingere şi la diverşi compuşi chimici. La drept vorbind, viața ascidiei pare remarcabil de plictisitoare: este, efectiv, un intestin şi atât. Nu se târăşte, nu înoată, nu vede şi nu gândeşte. Pur şi simplu stă nemişcată şi îşi ia hrana din apa mării într-un mod care de-abia dacă poate fi numit „a mânca“.



Ascidie adultă (stânga) și larva ei-mormoloc (proporțiile nu sunt reale).

Dar în viața ascidiei există o etapă când, pentru scurtă vreme, lucrurile devin mai interesante. Ca „larvă-mormoloc“, ascidia *înoată*. Este o vietate micuță, care aduce a peşte şi înoată, se mişcă după

bunul-plac. Larva are coadă şi cap, dar în curând le va pierde pe amândouă. Când creşte şi se stabileşte undeva, doar trei zile mai târziu, rămâne fără cap. La jumătatea secolului al XIX-lea, un embriolog rus pe nume Aleksandr Kovalevski (care-i fusese student lui Haeckel) a observat că larva de ascidie este oarecum aparte: are o coardă dorsală cu rol de susținere (numită notocord) şi un tub neural în coadă. Se ştia deja de existența acestor trăsături la embrionii vertebratelor, aşa că, deşi ascidia adultă îşi pierde notocordul şi tubul neural, larva ei ne arată că se înrudeşte chiar foarte îndeaproape cu vertebratele. Kovalevski părea să fi dat, din întâmplare, peste un secret al biologiei: vertebratele ar fi evoluat dintr-un strămoş neotenic[1] asemănător cu ascidia – o ascidie-Peter Pan care a uitat să mai crească şi să-şi găsească un loc stabil şi care a rămas „larvă“ liber-înotătoare tot restul vieții. Aşa scria în manuale şi în anii ’80, când învățam eu biologie la şcoală.



Arbore genealogic (cu cel mai vechi strămoş jos) care ilustrează cum ar fi putut evolua vertebratele dintr-un strămoş asemănător cu ascidia.

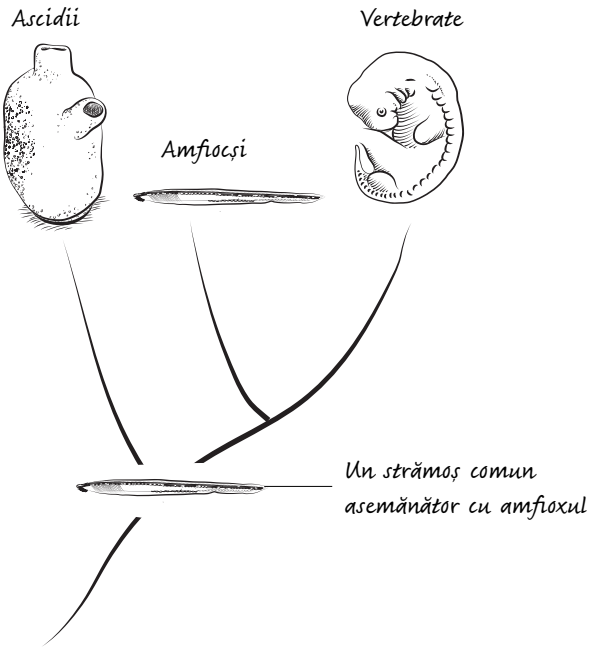
1. Care se poate reproduce în stadiul larvar (n. tr.).

Cercetările recente pun la îndoială şirul acesta de evenimente. În ştiință, e un risc asumat: ceea ce azi pare a fi o teorie serioasă, întemeiată pe dovezile disponibile, poate ajunge mâine la pubela istoriei, când o dovadă nouă refuză să-şi găsească locul în paradigma existentă. Aşadar, noile studii sugerează că, deşi tunicierii[1], printre care şi ascidiile, sunt, într-adevăr, înrudiți cu noi, nu sunt de prea mare folos dacă vrem să ştim cum arăta strămoşul vertebratelor. Studiile făcute asupra ADN-ului şi a morfologiei ascidiilor arată că animalele acestea, de fapt, s-au *simplificat* cu timpul. Strămoşul comun al tunicierilor şi al vertebratelor era, probabil, nu o creatură sedentară ca ascidia adultă (forma ei adultă trebuie să fi evoluat mai târziu), ci un animal care înota liber toată viața.

De fapt, există animale înrudite îndeaproape atât cu vertebratele, cât şi cu ascidiile şi care îşi petrec întreaga viață înotând: se numesc amfiocşi. Sunt creaturi mici, care seamănă foarte mult cu peştii, dar nu sunt peşti – nu au coloană vertebrală (şi nici craniu). Se numesc *Branchiostoma lanceolatum* (fiindcă sunt ascuțiți ca lăncile) şi li se spune amfiocşi de la *amphioxus*, cuvânt grecesc care înseamnă „cu două vârfuri“. Împreună, vertebratele, ascidiile şi amfiocşii sunt „cordate“, fiindcă au notocord. Cordatele mai au câteva caracteristici definitorii, printre care tubul neural gol pe dinăuntru, orificiile branhiale şi coada. Aici ar trebui să ne oprim puțin, fiindcă poate te gândeşti aşa: „Stai puțin! Eu sunt un animal vertebrat, deci sunt cordată. Dar n-am orificii branhiale şi nici coadă! Şi nu cred că am nici tub neural gol pe dinăuntru sau notocord.“ Cheia enigmei este că, pentru a fi cordată, nu trebuie decât să ai trăsăturile acestea *la un moment dat în viață*, iar în privința asta semeni puțin cu ascidia, care le are în stadiul larvar, dar le pierde când creşte. Ca embrion, aveai şi tu notocord (care formează un fel de pre-coloană vertebrală), tub neural gol pe dinăuntru, coadă şi orificii branhiale. Aşadar, *eşti* o cordată.

Odată ce am stabilit că suntem cordate, ne dăm seama cum ne înrudim cu toate celelalte animale de pe planetă – fie ele vii sau dispărute. Cordatele nu sunt decât unul dintre cele aproximativ 35 de grupuri mari, sau încrengături, din regnul animal. Clasificarea vertebratelor, a ascidiilor şi a amfiocşilor în categoria cordatelor a fost propusă de

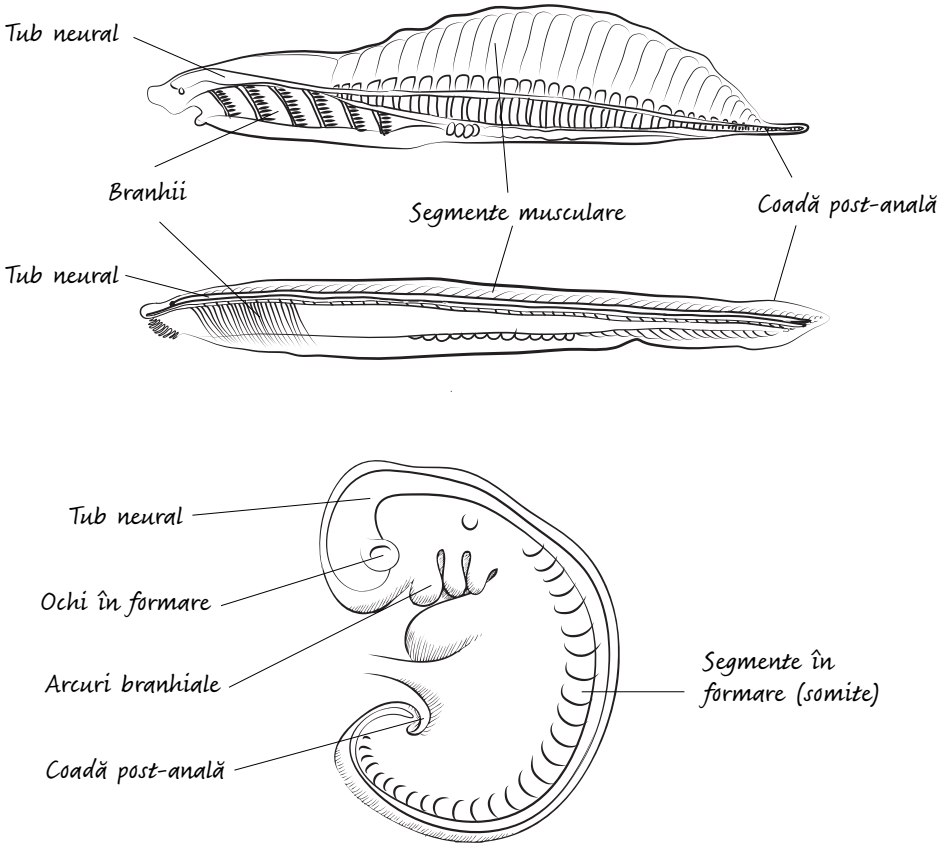
1. Subîncrengătură de animale marine care se împarte în trei clase: *Ascidiacea* (ascidiile), *Thaliacea* şi *Larvacea* (n. tr.).



Arbore genealogic (cu cel mai vechi strămoș jos) care ilustrează evoluția vertebratelor și a ascidiilor dintr-un strămoș asemănător cu amfioxul, care înota liber.

nimeni altul decât Ernst Haeckel, în 1874. Originea încrengăturii (din care facem parte şi noi) se poate urmări până în trecutul îndepărtat, în perioada geologică numită cambrian, care a început acum 542 de milioane de ani. Înainte, viața de pe Pământ era formată aproape în întregime din organisme unicelulare, dar în perioada despre care vorbim s-au proliferat şi s-au diversificat enorm formele de viață pluricelulare, dintre care majoritatea trăiau în mări; fenomenul este cunoscut sub numele de „explozia cambriană". În prezent, fosilele dovedesc clar că au existat animale pluricelulare cu corpuri moi cu mai mult de 542 de milioane de ani în urmă, dar primele fosile din multe încrengături importante de animale – printre care, firește, şi cordatele – se găsesc în roci cambriene.

Foarte aproape de sfârşitul secolului XX, un grup de paleontologi care prospectau roci preistorice în provincia Yunnan din sudul Chinei



Caracteristici de cordată la (de sus în jos) Haikouella, la amfioxul modern și o secțiune transversală printr-un embrion uman aproape de sfârșitul celei de-a treia săptămâni de dezvoltare.

au descoperit peste 300 de fosile superb conservate ale unui animal micuț, care aducea a peşte şi care avea să fie numit *Haikouella*. Rocile şi, deci, şi fosilele din ele datau chiar din cambrianul timpuriu, de acum 530 de milioane de ani.

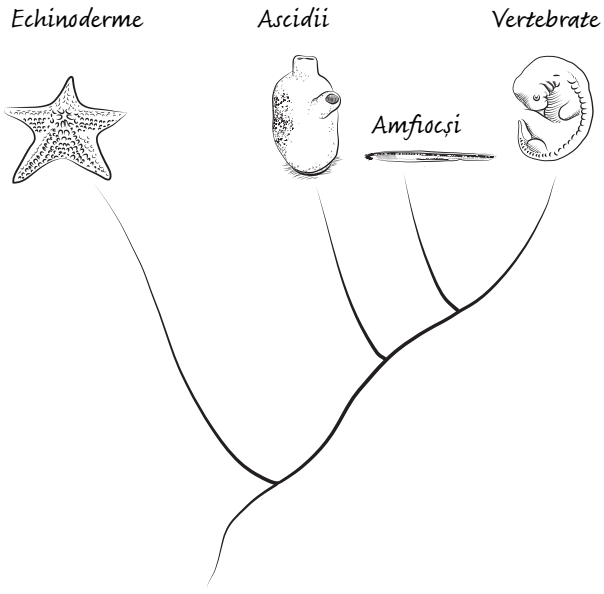
Să ne închipuim deci ființele acestea mici, de 2-3 cm lungime, asemănătoare peştilor, înotând aproape de fundul unei mări puțin adânci şi odihnindu-se din când în când. Să ne imaginăm un banc întreg. Când scade cantitatea de oxigen, mor în masă şi cad pe fundul

mării, care e acoperit de un nămol atât de fin, încât îl tulbură chiar şi cea mai delicată undă de curent, acoperind corpurile mărunte. Cu timpul, țesuturile moi ale acestor creaturi asemănătoare peştilor se mineralizează. Noroiul mătăsos de pe fundul mării se solidifică, devine rocă şi conservă anatomia animalelor în detalii splendide.

Deşi micile fosile nu au decât câțiva centimetri lungime, se pot observa în structura lor grupele de muşchi, o coardă dorsală cu rol de susținere, numită notocord, intestinul, arcurile dantelate care ar fi susținut branhiile şi chiar şi un creier minuscul. Gura e mărginită de douăsprezece tentacule scurte. Una din fosile prezintă un detaliu care seamănă surprinzător de mult cu un ochi. E o ciudățenie mică, ce aduce a vierme, dar şi a peşte. De fapt, nu e nici una, nici alta. Cel mai mult seamănă cu un amfiox. Anatomia amfiocşilor actuali seamănă incredibil de mult cu anatomia pe care o putem reconstitui pornind de la rocile de 530 de milioane de ani vechime din China. *Haikouella* este cel mai timpuriu exemplu de animal cordat descoperit şi nu încape îndoială că are cap. Dacă amfiocşii de azi sunt veri îndepărtați cu noi, *Haikouella* (sau, în orice caz, un organism foarte asemănător cu ele) au fost, poate, strămoşul străvechi din care au evoluat oamenii (şi toate celelalte cordate). Aşadar, capetele (sau capetele în versiunea noastră, de cordate) există de cel puțin 530 de milioane de ani.

Originile stilului acestuia de viață, în care animalul înoată liber – şi de care pare să fie legată existența unui cap –, trebuie căutate mai adânc în arborele evolutiv al vieții, şi chiar mai departe în timp. Când te afunzi în adâncimile acestea tulburi, uneori e greu să găseşti răspunsuri. Manualele sunt rezervate în privința originii cordatelor şi a vertebratelor, iar opiniile legate de acest subiect s-au schimbat considerabil, nu mai departe de ultimul deceniu. Am un manual din 2001 care abordează chestiunea astfel: „În capitolul de față, vom specula asupra originii nevertebrate (a vertebratelor).“

Dintre toate celelalte încrengături de animale care trăiesc în prezent pe Pământ, printre cele mai apropiate de noi, de cordate, sunt echinodermele, cu învelişul lor țepos; între ele se numără aricii-de-mare, stelele-de-mare, ofiuridele, crinii-de-mare şi castraveții-de-mare. Evoluția a generat variații, dar toate animalele de mai sus se bazează, la origini, pe un plan corporal „pentaradial“: simetrie cu cinci axe. Cu greu ne-am putea imagina ceva mai puțin asemănător cu



Veri „marțieni" – arbore genealogic care arată cât de îndeaproape se înrudesc, de fapt, vertebratele cu echinodermele.

omul, sau chiar cu peştele sau amfioxul, decât steaua-de-mare. Richard Dawkins le numea „marțieni". E drept că sunt foarte ciudate în comparație cu vertebratele, şi chiar şi cu alte nevertebrate, care de obicei urmează şi ele o simetrie bilaterală: au față şi spate, partea stângă şi partea dreaptă, spre deosebire de simetria radială stranie a stelelor-de-mare. Există însă un stadiu în care stelele-de-mare seamănă cu cordatele – cel în care sunt nişte embrioni minusculi. Dezvoltarea embrionară timpurie a stelelor-de-mare seamănă cu dezvoltarea cordatelor (inclusiv cu a noastră), iar larvele stelelor-de-mare înoată libere, la fel ca larvele ascidiilor. Spre deosebire de forma lor adultă, larvele de stea-de-mare *au* simetrie bilaterală, cu cap şi coadă: o formă care ne e mult mai familiară. Să fie deci posibil ca, în loc să fi evoluat dintr-o larvă asemănătoare cu ascidia care „a uitat să mai crească", primele cordate să se tragă dintr-un strămoş care ar aminti mai degrabă de larva unei echinoderme moderne?

Pentru zoologii care încearcă să rezolve enigma originii cordatelor, marea problemă este golul enorm care se deschide între cordate şi

echinoderme. Există suficiente indicii anatomice, embriologice şi, mai nou, genetice care arată că cele două încrengături se înrudesc îndeaproape, dar cum arăta strămoşul lor comun? Arăta mai mult a echinodermă – sau a cordată? Au evoluat stelele-de-mare din strămoşi care înotau liber, sau am evoluat noi dintr-un organism sedentar, dintr-un animal sesil care filtra hrana şi ale cărui larve au uitat să mai crească? Până nu demult, ideea de larvă „Peter Pan“ (de data aceasta aparținând unui animal asemănător cu echinodermele, nu cu ascidiile) s-a bucurat de popularitate. Ne-a salvat însă genetica, fiindcă, deşi două animale arată foarte diferit la nivel superficial, se pot găsi similarități genetice profunde care revelează o afinitate evolutivă: un strămoş comun.

În puzzle-ul acesta mai există o piesă: o ramură a arborelui genealogic pe care am omis-o, nu fără intenție, până acum. Aricii-de-mare acoperiți de țepi, stelele-de-mare şi crinii-de-mare au nişte rude apropiate, numite *Hemichordata* („cordate pe jumătate“) sau, în engleză, „*acorn worms*“ – viermi-ghindă. Sunt viermi solitari, care trăiesc în nămol sau sub pietre, în ape puțin adânci, unde cresc până la doi metri lungime, şi prezintă un amestec ciudat de trăsături de cordate şi de nevertebrate. Numele de „viermi-ghindă“ le vine, se pare, de la forma trompei, care mie-mi seamănă mai mult a rachetă din desene animate. Însă întreg animalul seamănă în primul şi în primul rând cu un spermatozoid gigantic. (Am desenat un spermatozoid lângă el, doar ca să subliniez ideea. Asemănarea e doar superficială, dar, dacă i-aş fi botezat eu, s-ar fi numit viermi-spermatozoizi, care, evident, e un nume mai bun, fiindcă rimează[1].)

La zece ani după ce Ernst Haeckel a organizat încrengătura Chordata, în 1884, biologul englez William Bateson (rămas celebru pentru că a inventat termenul „genetică“) i-a alipit viermii-ghindă. Explicația lui a fost că i se părea că aveau trăsături specifice cordatelor. Ființele acestea ciudate aveau rânduri de orificii branhiale, ca amfiocşii, iar pe spate aveau un cordon nervos care părea gol pe dinăuntru din loc în loc. Mai mult, Bateson credea că o mică masă lunguiață de țesut din interiorul trompei viermelui-ghindă ar putea fi notocordul. Mai târziu, biologii l-au combătut, iar în anii ’40 viermii-ghindă fuseseră

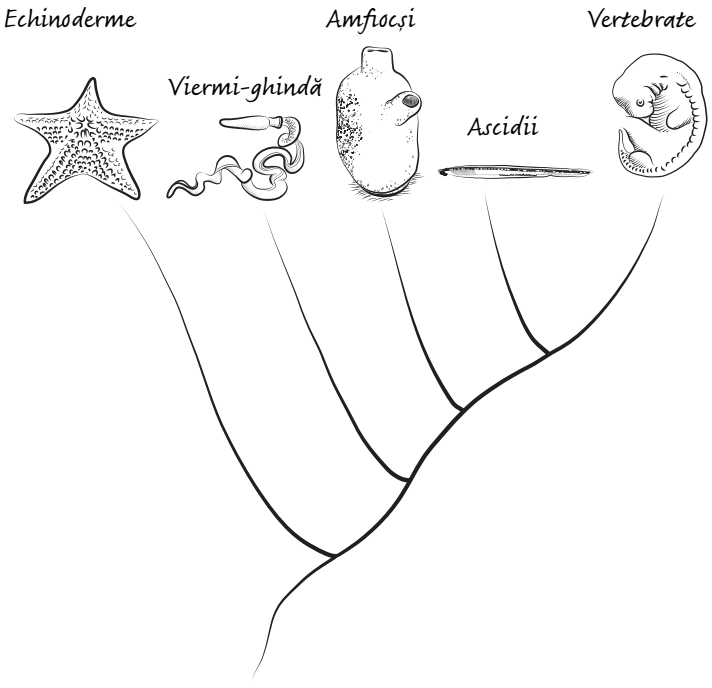
1. În engleză, *sperm worms* (n. tr.).

Vierme-ghindă (stânga) și spermatozoid uman (dreapta; proporțiile nu sunt reale).

dați afară deja din clanul cordatelor. Trăiau într-o binecuvântată ignoranță, neștiind că fuseseră retrogradați. Sălășluiau în continuare în bârlogurile lor nămoloase şi îşi vedeau de treaba lor, iar oamenii păreau să-şi fi pierdut orice interes față de ei.

Dar în ultimele decenii, viermii-ghindă au ajuns din nou la modă. Ştiința modernă pe care a botezat-o Bateson a descoperit secretele ascunse în ADN-ul lor. Deşi nu sunt cordate, totuşi, ca rude ceva mai îndepărtate, sunt şi mai utile, fiindcă ne dau indicii despre originea încrengăturii noastre.

Poziția viermilor-ghindă în arborele nostru genealogic s-a elucidat în sfârşit când le-a fost analizat ADN-ul: sunt încrengătura-soră a echinodermelor. Studiind diferențele din şirul de „litere“ (cele patru baze de nucleotide) din care se compune ADN-ul, biologii pot deduce relațiile dintre diverse animale şi pot alcătui „arbori genealogici“ care fac parte din marele arbore evolutiv al vieții. Diferențele între tipurile de ADN reflectă relațiile evolutive reale dintre animale. De exemplu, o vertebrată are mai multe asemănări genetice cu o ascidie decât are oricare dintre ele cu un vierme-ghindă, fiindcă vertebrata şi ascidia au un strămoş comun mult mai recent. Să compari ADN-ul animalelor pare o știință complet nouă, dar, deşi absolut revoluționară, este de fapt o ramificație a ceea ce au făcut biologii evoluționişti dintotdeauna: să compare şi să studieze diferențele dintre diferitele părți ale diverselor animale. Numai că, în loc de părți ale corpului, sunt comparate gene şi perechi de baze din secvențele de ADN. Este o anatomie comparativă, moleculară.



Arbore genealogic (cu cel mai vechi strămoș jos) care arată cât de înde-aproape se înrudesc viermii-ghindă cu cordatele – strămoșul lor comun era, probabil, un vierme.

Secvențele de ADN ne ajută să trasăm arbori genealogici, dar geneticienii pot afla şi dacă o structură anume din anatomia unui animal chiar este echivalentă – „omoloagă“, cum se spune – cu o structură asemănătoare din anatomia altui animal. Omologia există la diverse animale ca urmare a ascendenței lor comune. Darwin observa, de pildă, că mâna omului, aripa liliacului şi înotătoarea marsuinului sunt structuri omoloage, moştenite toate de la un strămoş comun. Uneori, însă, omologia poate fi greu de sesizat, iar cea mai bună cale de a determina dacă structurile sunt cu adevărat omoloage este analiza genelor activate (sau exprimate, în jargonul genetic) când se formează structurile respective în embrion.

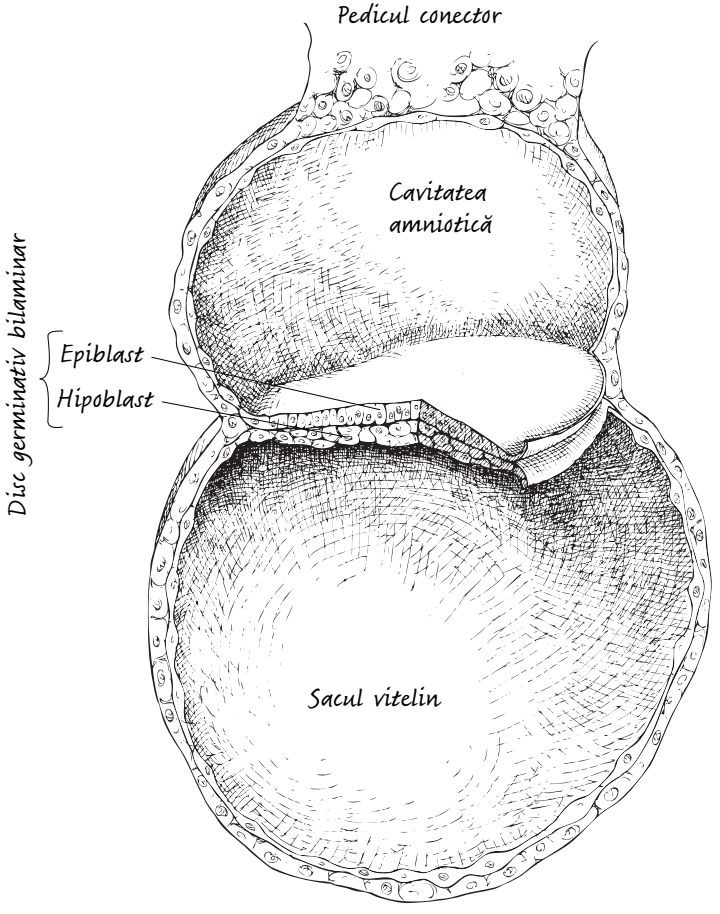
Pe suprafața interioară a orificiilor branhiale în curs de dezvoltare la cordate şi la viermii-ghindă se exprimă gene similare: trăsăturile

respective chiar sunt omoloage. Dar la notocordul cordatelor şi la structura pe care o considera Bateson echivalentul notocordului la viermii-ghindă se exprimă gene diferite – cele două nu sunt omoloage. Mai mult, s-a înşelat şi cu privire la cordonul nervos gol pe dinăuntru pe care l-ar fi posedat viermii-ghindă; de fapt, au o „rețea neurală“ răspândită prin epidermă, aflată imediat sub suprafața corpului. Ceea ce Bateson a luat drept cordon nervos gol pe dinăuntru nu era decât o mică parte din această rețea.

Prin cumularea indiciilor din anatomia comparativă, din embriologie, din genetică şi din paleontologie, s-ar părea că am obținut în sfârşit răspunsul la întrebarea: când şi de ce a apărut primul cap printre strămoşii noştri? Trompa rudei noastre îndepărtate, viermele-ghindă, în spatele căreia se află şi gura, nu se prea poate numi cap, dar se pare că, totuşi, cordatele (şi echinodermele) nu au evoluat din larva unei creaturi marine mai degrabă sedentare, ci se trag, probabil, dintr-un vierme care a învățat să înoate. (De aici rezultă, în mod interesant, că simetria radiară a stelei-de-mare adulte trebuie să fi evoluat mai târziu – steaua-de-mare se trage din strămoşi cu simetrie bilaterală, la fel ca noi. Noi am rămas la simetria bilaterală „primitivă“, în timp ce steaua-de-mare a inventat un model nou şi atrăgător.) Dezvoltarea capului se leagă de faptul că strămoşii noştri şi-au dezvoltat capacitatea de a înota. A avea cap nu ține doar de mobilitate, fiindcă şi aricii-de-mare şi stelele-de-mare se mişcă. (În seria BBC *Life*, care încă se poate urmări pe YouTube, a apărut un montaj foarte impresionant, care redă, accelerat, mişcarea stelelor-de-mare.) Dar stelele-de-mare – după cum arăta atât de frumos montajul respectiv – se pot deplasa în orice direcție. Sincer, dacă te-ai uita la o stea-de-mare, ai putea spune care e capătul din față? Cheia întrebării „Ar trebui animalul să aibă cap?“ este, din câte se vede, „Are animalul o parte frontală?“ Cu cât te deplasezi mai rapid, cu atât mai repede o să înceapă partea din față să semene a cap. Pentru animalele care înoată liber, este ideal ca organele de simț să fie aşezate toate în față, în cap, în partea care ia prima oară contact cu noutățile din mediu. Firește, un rol important îl are şi creierul, care procesează masa de informații venite de la organele de simț din zona capului.

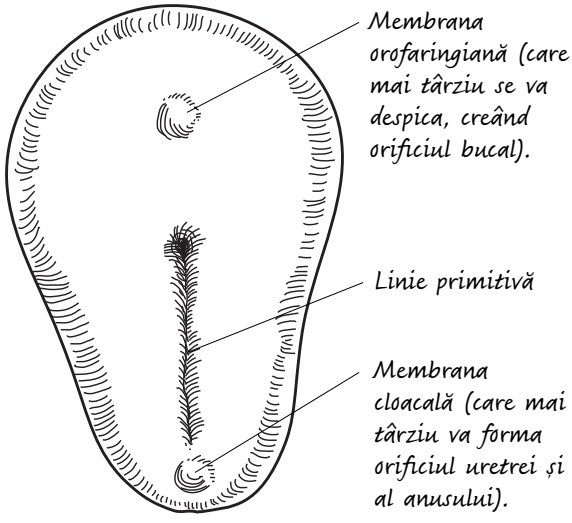
CREIERE PREISTORICE ŞI CREIERE EMBRIONARE

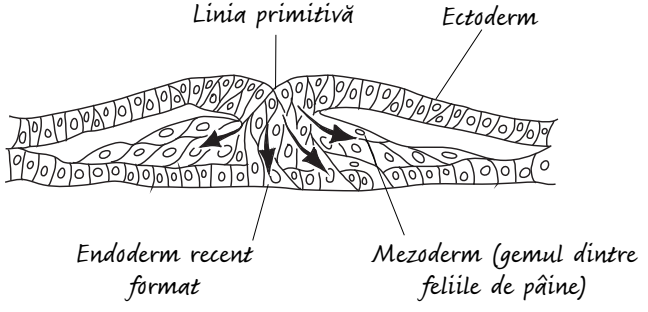
În rocile vechi de 530 de milioane de ani din provincia Yunnan, vedem primele vestigii de cordate, primele vestigii ale unui cap adevărat şi primele vestigii de creier. Ca orice cordată veritabilă, şi *Haikouella* are un tub neural gol pe dinăuntru, iar capătul din față al



În a doua săptămână de dezvoltare, embrionul este un disc cu două straturi, strâns ca într-un sendviș între cavitatea amniotică și sacul vitelin (care s-a dezvoltat din cavitatea blastocistică inițială).

tubului este puțin îngroşat şi împărțit în trei segmente. Poate nu e tocmai atrăgător, dar capătul acesta frontal, mai gros, al tubului neural este creierul fosilei *Haikouella*. Uluitor este că şi creierul tău, deşi atât de mare şi de complex, a apărut la fel: prin îngroşarea tubului neural al embrionului.


Membrana orofaringiană (care mai târziu se va despica, creând orificiul bucal).
Linie primitivă
Membrana cloacală (care mai târziu va forma orificiul uretrei și al anusului).



Suprafața epiblastului, cu linia primitivă (deasupra) și secțiune transversală prin linia primitivă (dedesubt), în care se văd celulele care umplu interiorul discului germinativ, formând un nou mezoderm și un nou endoderm.

Mai devreme te-am lăsat în stadiul de embrion în dezvoltare, prins de peretele uterului mamei. Masa internă de celule a morulei cu aspect de mură devenise un disc plat, cu două straturi, prins ca într-un sendviş între sacul vitelin şi cavitatea amniotică recent formată. Stratul superior al discului este epiblastul, iar stratul inferior – hipoblastul.

Acum, că te afli în a treia săptămână de dezvoltare embrionară, se vor petrece nişte evenimente foarte interesante. A venit timpul să ai o experiență extracorporală. Închipuie-ți propriul embrion la o scară uriaşă şi pe tine însuți plutind în cavitatea amniotică, privind în jos la suprafața epiblastului, care acum seamănă mai mult cu o pară 2D decât cu un disc. (Şi să nu uităm că obiectul acesta ciudat, plat, cu aer extraterestru, eşti *chiar tu* la doar două săptămâni după concepție.) Forma de pară aplatizată are deja o parte frontală (cea mai lată) şi una posterioară, o parte stângă şi una dreaptă. Se întâmplă ceva ciudat la suprafața epiblastului: o vezi cum se pliază, formând o adâncitură pe linia mediană a embrionului, ca o falie geologică. Celulele din epiblast se multiplică, se deplasează spre falie şi dispar în ea. Vor da deoparte celulele hipoblastului, formând în locul lor un strat nou, şi îşi vor face loc ca să constituie un nou strat median, între epiblastul original şi noul „strat inferior".

Ca urmare a atâtor permutări şi multiplicări, cele două straturi inițiale ale embrionului au devenit trei: ectoderm, mezoderm şi endoderm. Acum eşti un disc cu trei straturi, sau trilaminar. Celulele din fiecare strat au o soartă distinctă. Endodermul îți va îmbrăca intestinele, plămânii şi vezica. Mezodermul va deveni oase, muşchi şi vase de sânge. Ectodermul va forma stratul exterior de piele şi nervii. Aici observăm încă o fațetă a dezvoltării embrionare umane care ne leagă de animalele cu care suntem înrudiți de departe, ca un ecou din adâncurile istoriei noastre evolutive. Ții minte rețeaua neurală din epiderma viermelui-ghindă?

Procesul prin care din două straturi se formează trei straturi se numeşte „gastrulație", fiindcă la animalele mai simple (ca amfioxul) deplasarea aceasta de celule produce şi prima formă a intestinului. Este un eveniment important, întrucât pune bazele construcției organismului tău complex, iar modul în care s-a produs marchează şi el o diviziune fundamentală în cadrul regnului animal, o răscruce ancestrală mai veche decât perioada în care ne-am aventurat noi mai înainte,

veche de aproape 600 de milioane de ani. La un anume grup de animale, gastrulația creează straturi noi şi, în acelaşi timp, un orificiu care va deveni gura – e vorba de *Protostomia* („cu gura înainte“, în greacă), un grup uriaş, care cuprinde artropodele (încrengătura masivă din care fac parte insectele, crustaceele şi păianjenii), moluştele şi mai multe încrengături de viermi. La celălalt grup de animale, *Deuterostomia* („cu gura înapoi“), gura se dezvoltă mai târziu, ca orificiu separat. Comparativ, *Deuterostomia* este un clan mic, care include şi încrengătura noastră, cordatele, dar şi viermii-ghindă şi echinodermele.

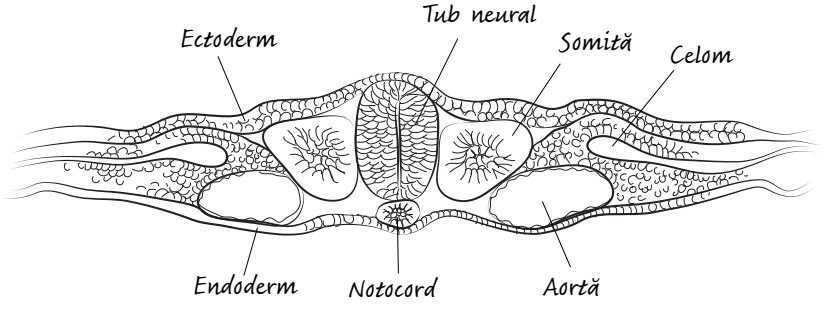
La cordate, unde ne încadrăm şi noi, gastrulația este şi perioada în care apare prima noastră trăsătură definitorie. Pe măsură ce se formează stratul din mijloc – mezodermul (ca să ne facem o imagine, e ca şi când am injecta gem între două felii de pâine) –, parte din acesta se îngroaşă şi marchează o dungă pe axa centrală a embrionului. E vorba de notocord („coarda de pe spate“, în greacă), crucial pentru formarea unei alte caracteristici a cordatelor: tubul neural. E ca şi cum notocordul ar „vorbi“ cu stratul superior al ectodermului, de deasupra lui, şi i-ar spune să înceapă să se transforme. Într-un fel, exact asta se şi întâmplă, numai că discuția se poartă prin intermediul semnalelor chimice. ADN-ul conține un set de instrucțiuni pentru construirea unui embrion, iar modelul se generează astfel: când se activează anumite gene, celulele vor produce proteine care le semnalizează celorlalte celule ce să facă.

În cazul nostru, când încep să vină din notocord semnalele chimice, ectodermul de deasupra începe să se îngroaşe. În curând, iese în relief de pe restul ectodermului o porțiune în formă de lingură. Forma aceasta începe apoi să se încrețească pe mijloc, formând un şanț lung flancat de două cute. Crestele cutelor încep să se răsfrângă spre interior şi, în cele din urmă, se întâlnesc la mijloc, închizând şanțul şi formând un tub.

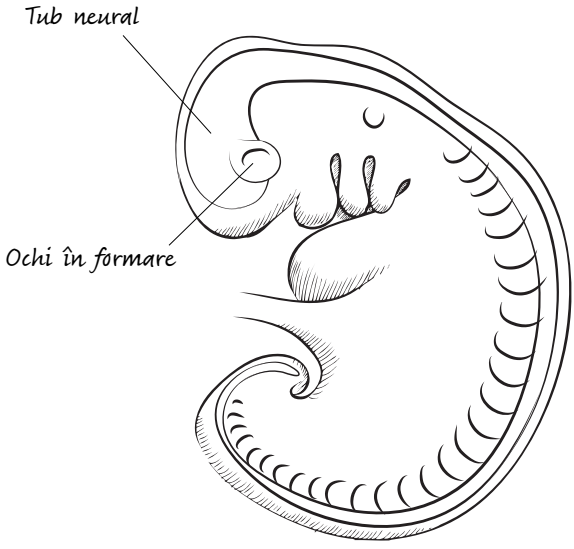
În anii ’60, embriologii bănuiau că formarea structurilor ca tubul neural (şi, de fapt, toată dezvoltarea embrionară) depinde de existența unor proteine semnalizatoare. Dar de-abia în anii ’90 a început să se desluşească misterul moleculelor respective şi al genelor care le codifică. Într-un embrion normal, celulele din partea superioară (dorsală) a tubului neural vor deveni neuroni senzoriali, iar celulele din tubul neural inferior (ventral) urmează să devină neuroni motori. Modelul se continuă şi în măduva spinării la adult, în care neuronii

senzoriali (care aduc informație) sunt grupați posterior, iar neuronii motori (care duc semnalele la mușchi) sunt grupați mai aproape de partea din față. Experimentele cu embrioni de pui de găină au arătat că, dacă se înlătură notocordul, neuronii motori ventrali nu se mai dezvoltă. S-a bănuit că notocordul producea un semnal chimic care afecta celulele în mod diferit, în funcție de gradul de concentrație. Într-un târziu, a fost identificată gena respectivă, precum şi semnalul pe care-l transmitea, şi i s-a dat numele de „ariciul sonic“ (după personajul cu păr albastru din jocurile video).

Deşi nu ai notocord decât pentru puțină vreme, în timpul vieții intrauterine, iar ca vertebrată care se respectă ți-ai construit în locul lui o coloană vertebrală mult mai substanțială (despre care vom mai vorbi), la început tot ai nevoie de notocord. Fără el, nu ți s-ar fi dezvoltat nici măduva spinării, nici creierul. Gândeşte-te la schelele cu ajutorul cărora se construiesc blocurile-turn: când e gata clădirea, schelele vor fi demontate şi înlăturate complet, dar în timpul construcției au avut un rol esențial. Tot la fel este şi notocordul esențial pentru dezvoltarea tubului neural.



Secțiune transversală printr-un embrion uman aflat aproape de sfârșitul celei de-a treia săptămâni de dezvoltare. În stadiul acesta, embrionul este în continuare un disc plat, dar s-a format tubul neural, iar mezodermul aflat de o parte și de alta a lui se strânge, alcătuind niște proeminențe numite somite. Deja se formează vasele de sânge: câte o aortă de fiecare parte. Celomul este precursorul cavităților corporale: buzunarele căptușite cu membrane care conțin plămânii, inima și intestinele.



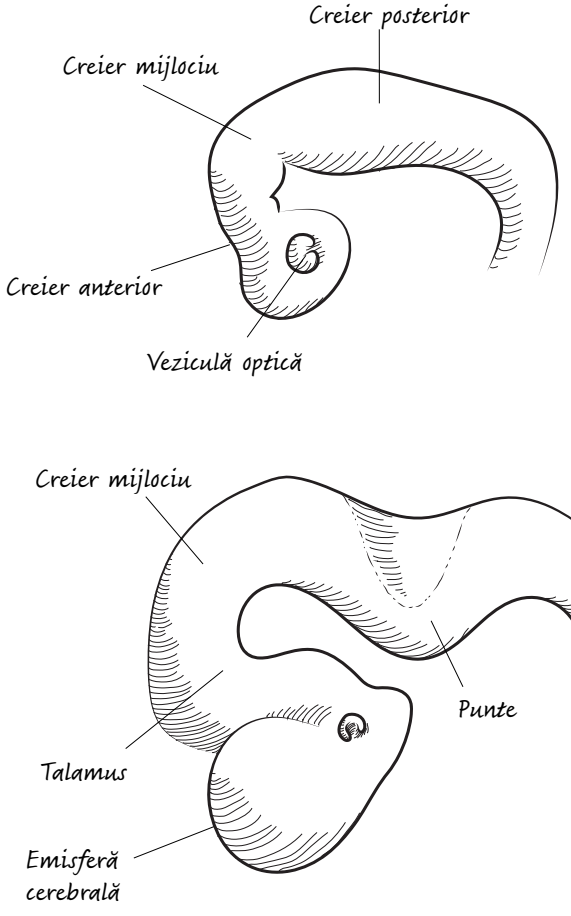
În a patra săptămână de dezvoltare a embrionului, tubul neural se închide la ambele capete, iar embrionul nu mai este un disc plat: laturile i s-au curbat până s-au întâlnit la mijloc, astfel că acum suprafața exterioară a embrionului este formată numai din ectoderm.

Tubul nu se închide simultan pe toată lungimea: începe să se micşoreze la mijlocul discului embrionar – regiune care va deveni gâtul embrionului. Apoi se strânge ca un fermoar, în ambele direcții, iar capetele i se închid în a patra săptămână de dezvoltare, astfel încât nu mai comunică cu exteriorul. Tubul acesta gol pe dinăuntru este temelia sistemului nervos central: creierul şi măduva spinării.

Dacă pliurile neurale nu se întâlnesc şi nu se unesc, rezultatul este un „defect de tub neural“. În Marea Britanie, această malformație afectează cam opt bebeluşi din 10 000. Diversitatea şi impactul defectelor de acest tip sunt foarte variate. Dacă nu se închide capătul frontal al tubului neural, nu se poate dezvolta creierul embrionului. Defectul se numeşte anencefalie („fără creier“, în greacă), iar bebeluşii afectați mor la naştere sau foarte curând după aceea. Astfel de defecte grave se depistează de obicei la ecografiile prenatale. Dacă deschiderea se află altundeva pe lungimea tubului neural, defectul se

numeşte *spina bifida* (literal, „coloană despicată"), şi poate varia de la un defect sever, care duce la paralizia picioarelor, la o deschizătură ascunsă în vertebre care nu are urmări negative.

Acum, că eşti un embrion în vârstă de patru săptămâni, tubul tău neural nou-nouț, puțin mai lat şi mai gros în partea din față, seamănă izbitor cu tubul neural al cordatelor primitive, cum ar fi amfiocşii



Creierul embrionului în ultima parte a celei de-a patra săptămâni de dezvoltare (sus) și în a șasea săptămână (jos), când creierul anterior a format emisferele cerebrale și talamusul, iar creierul posterior – puntea și bulbul rahidian.

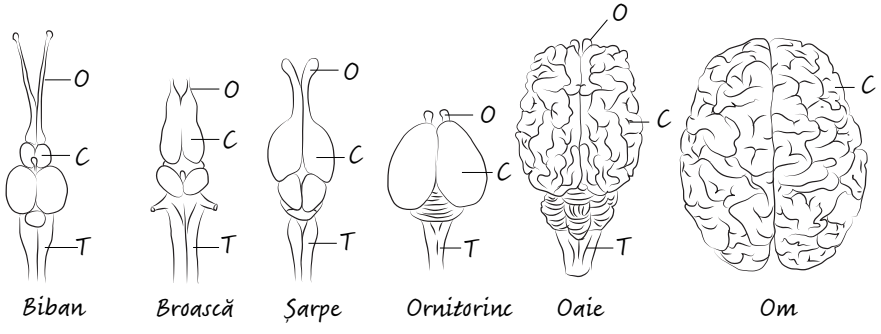
din prezent sau *Haikouella* preistorici. Creierul tău se va mai dezvolta mult timp de-acum încolo, dar creierul amfioxului nu va ajunge altceva decât o uşoară lărgire a tubului neural, nefiind cu mult mai complex decât măduva din spatele lui. Bineînțeles, la vertebrate, printre care ne numărăm şi noi, începe să se formeze încă din embrion un creier mai complex: capătul anterior al tubului neural închis se umflă şi formează un şir de trei baloane, sau vezicule, interconectate, din care se dezvoltă apoi creierul anterior, creierul mijlociu şi creierul posterior. Dezvoltarea creierului posterior este controlată de un set de gene *Hox* generatoarea de tipare, care au o istorie foarte lungă – versiuni ale lor apar şi la musculița de oțet, cu care avem un strămoş comun care a existat acum circa 800 de milioane de ani. Unele zone ale creierului anterior şi mijlociu sunt determinate de gene care au apărut mai recent în istoria noastră evolutivă, după ce s-au separat grupurile de animale *Protostomia* şi *Deuterostomia*, dar înainte să apară cordatele.

Pe măsură ce partea frontală a creierului anterior continuă să crească, se desparte în doi lobi, care vor forma emisferele cerebrale. Chiar în spatele lobilor, cresc din lateralele creierului anterior cele două vezicule care vor deveni ochii tăi. La multe vertebrate, structura timpurie a creierului din cursul dezvoltării embrionare rămâne uşor de recunoscut în creierul adult. La prima vedere, creierul uman pare să fie cu totul şi cu totul diferit, motivul fiind creşterea disproporționată a creierului anterior. Emisferele noastre cerebrale extrem de mari ascund restul creierului, dar dacă îl priveşti de dedesubt sau îl secționezi, vezi structurile care s-au dezvoltat din veziculele embrionare timpurii. Creierul embrionului uman aflat în curs de dezvoltare seamănă foarte mult cu creierul de rechin, dar asemănarea este trecătoare. Creierul uman va ajunge să fie mult mai complex decât cel de rechin. Ne tragem dintr-un şir de animale care s-au specializat în dezvoltarea emisferelor cerebrale. Mamiferele au emisfere cerebrale mai mari în comparație cu reptilele. Mamiferele placentare (printre care ne numărăm şi noi, precum şi majoritatea celorlalte mamifere) au emisfere cerebrale mai mari decât alte mamifere, cum ar fi ornitorincul; primatele au emisfere cerebrale mai mari decât majoritatea celorlalte mamifere, iar creierul uman s-a dezvoltat cel mai mult.

La peşti, cea mai mare parte a creierului o reprezintă trunchiul cerebral (format din creierul mijlociu şi creierul posterior). Creierul

anterior e mic, cu lobi olfactivi relativ mari. Telencefalul este puțin mărit la amfibieni în comparație cu peştii: trebuie să proceseze mai multă informație senzorială şi să controleze musculatura mai complicată a membrelor. Emisferele cerebrale devin şi mai mari la reptile (şi păsări), se rotunjesc spre lateral şi acoperă talamusul de dedesubt. Telencefalul mamiferelor – mai ales al celor placentare – ajunge formidabil de mare. Pe lângă dimensiunea mărită, mamiferele mai prezintă o schimbare importantă: creşterea unui strat exterior de țesut cerebral nou-nouț – neocortexul. La mamifere, neocortexul a crescut atât de mare, încât a acoperit părțile din creier care, evolutiv vorbind, sunt mai vechi. Deşi sunt mai puțin evidente, zonele acestea arhaice din cortex încă există. Sub partea inferioară a creierului, pe marginea interioară a lobului temporal, se află cortexul olfactiv, care procesează cel mai vechi dintre simțuri, mirosul, şi hipocampul, care are de-a face cu memoria.

Neocortexul mamiferelor conține corpi celulari neuronali, care au fost împinşi spre exteriorul creierului, şi are trei roluri principale: primeşte şi interpretează informația senzorială venită din întregul corp; trimite semnale motorii către muşchi; colaționează informația senzorială şi o depozitează sub formă de amintiri. La microscop,



O – Tract şi bulb olfactiv
C – Emisferă cerebrală
T – Trunchi cerebral

Selecție de creiere (proporțiile nu sunt reale) care ilustrează dimensiunea relativă a emisferelor cerebrale; la oameni, dacă privim partea superioară a creierului, ca în imagine, nu se văd decât emisferele cerebrale enorme.

observăm că neocortexul are şase straturi, iar la majoritatea mamiferelor este foarte încreţit. Datorită încreţiturilor, încape în craniu un volum mai mare de cortex – închipuiţi-vă că aţi mototoli o foaie de hârtie până aţi face din ea o minge. De fapt, suprafaţa cortexului uman ar fi comparabilă cu o foaie de hârtie foarte mare – măsoară cam 2 400 cm^2, adică ceva mai puţin decât o foaie de dimensiunea A2 (sau decât patru foi A4). Se estimează că în creierul uman există 86 de miliarde de neuroni, dintre care 13 miliarde se află în cortexul cerebral. Nu avem cel mai mare creier din regnul animal, fiindcă al elefantului şi al balenei, de exemplu, sunt mult mai mari; avem însă creiere extrem de mari în raport cu dimensiunea corpului.

CARTOGRAFIEREA CREIERULUI UMAN

Am norocul să fiu posesoarea a două lucruri foarte preţioase şi rare, făcute special pentru mine, pe când realizam documentare despre anatomia şi evoluţia omului pentru BBC. Unul este o copie a craniului meu, iar celălalt – o replică a creierului meu. Amândouă se bazează pe date obţinute printr-o scanare a capului, prin rezonanţă magnetică, şi sunt transpuse în formă solidă cu ajutorul unei imprimante 3D.

În general, reacţionez bine la vederea propriei anatomii interne. Cred că mi-am văzut structura corpului mai mult decât majoritatea oamenilor – în mare parte în timpul filmărilor sau al activităţii de profesor, nu din motive medicale. Cu ajutorul ultrasunetelor mi-am văzut mişcările inimii, muşchii şi nervii din gât; printr-o cameră endoscopică mi-am văzut intestinele, filmate din interior; iar mulţumită rezonanţei magnetice mi-am privit uterul şi ovarele, capul şi laringele. Dar, când mi-am văzut craniul reconstruit cu ajutorul scanării cerebrale, rezultatul m-a şocat de-a dreptul. Când am scos din cutie obiectul final, de un alb de alabastru, m-am pomenit faţă în faţă cu mine însămi. Sunt obişnuită să văd cranii, cranii adevărate, dar acela m-a afectat profund. Precum catacombele din secolul al XV-lea, menite mai degrabă să le amintească muritorilor de propria mortalitate decât să-i cinstească pe morţi, sau ca figurinele tradiţionale de Ziua Morţilor din Mexic, craniul meu imprimat în 3D îmi amintea izbitor de propria moarte – un *memento mori* extrem de personal şi

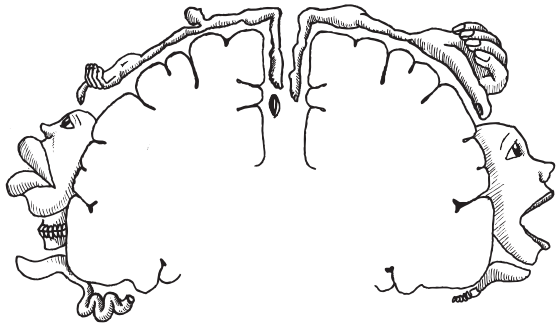
de puternic. În mai puțin de o sută de ani, după ce viermii îşi vor fi făcut treaba, eu, cea de acum, voi arăta exact la fel.

Cealaltă parte din mine imprimată în 3D, creierul, m-a tulburat mai puțin, dar mi s-a părut la fel de fascinantă. Îl țin pe birou atunci când scriu. Mi se pare straniu că gândurile mele sunt rezultatul impulsurilor nervoase care gonesc şi sar peste sinapse în interiorul creierului meu, care se află la loc sigur în craniu.

Creierul meu 3D e o replică fidelă a celui real. În special pe suprafața superioară, văd clar girii şi şanțurile (adică ridicăturile şi, respectiv, adâncimile dintre ele) care dau aspectul de nucă caracteristic creierului uman. Văd chiar şi şanțul central, sau *sulcus centralis*, care traversează fiecare emisferă de la un capăt la altul, de jos până sus, până la valea pronunțată dintre ele. Încâlceala de materie cenuşie din fața şanțului central este girul precentral, în care se află corpii celulari ai neuronilor motori, care-şi trimit axonii în jos, prin trunchiul cerebral şi măduva spinării, unde se întâlnesc prin sinapse cu neuronii motori secundari, care-şi întind fibrele lungi către toți mușchii scheletului meu, chiar şi către cei care-mi mişcă degetele de la picioare. În spatele şanțului central se află girul postcentral, care primeşte semnale senzoriale venite de pe toată suprafața corpului. Aşezarea neuronilor în giri, în raport cu părțile corpului pe care le comandă sau de la care primesc informații, nu e deloc întâmplătoare. Legăturile cu restul corpului se pot cartografia pe cortexul din această zonă şi, de multe ori, sunt desenate ca un homuncul (iată din nou cuvântul acesta, deşi aici reprezintă un tipar real de conexiuni cerebrale, nu un omuleț imaginar ghemuit în capul spermatozoidului).

Şanțul central reprezintă şi linia de demarcație între doi dintre lobii fiecărei emisfere cerebrale: cel frontal şi cel parietal. Mai rămân câte doi lobi de fiecare parte: cel temporal (ca un triunghi strecurat între lobul parietal şi cel frontal, adăpostit de osul temporal) şi cel occipital, în spate (sub osul cu acelaşi nume).

E incredibil faptul că versiunea reală a acestui organ, masa de țesut nervos viu din craniul meu, e responsabilă de tot ce ştiu şi fac acum. Gândeşte-te ce faci *tu* în clipa asta: când întorci paginile sau apeşi tasta pentru pagina următoare, se activează părțile din cortexul frontal care-ți controlează degetele. Pe lângă controlul mişcărilor voluntare, lobii frontali au un rol şi în concentrare, memorie, recunoaştere



Homunculii de mai sus arată cum este reprezentat corpul în girul postcentral (cortexul senzorial primar) și girul precentral (cortexul primar motor): zonele puternic inervate sunt mai mari.

şi emoţii. Lobii parietali se ocupă de procesarea stimulilor, inclusiv a celor vizuali – în momentul de faţă, procesează literele de pe pagina sau de pe ecranul din faţa ta. Lobii temporali sunt esenţiali pentru limbaj, mulţumită lor recunoşti cuvintele în formă scrisă sau vorbită. Lobii occipitali primesc informaţie de la retine şi formează o imagine: poate ţi se *pare* că vezi cu ochii, dar, de fapt, în globii oculari nu faci decât să transformi lumina în semnale electrice; de-abia în partea posterioară a creierului încep să capete sens semnalele şi să compună o imagine.

Funcţiile diferă şi de la emisfera dreaptă la cea stângă. Ca urmare a încrucişării neuronilor în măduva spinării, partea dreaptă a creierului controlează mişcarea din partea stângă a corpului şi viceversa. Pentru alte funcţii, diviziunea este asimetrică: partea dreaptă, „creativă“ (la majoritatea oamenilor), are de-a face cu orientarea în spaţiu, cu arta şi muzica. Partea stângă are sarcini mai „raţionale“, cum ar fi controlarea limbajului şi ordonarea gândirii logice. Însă cele două emisfere comunică permanent între ele. De fapt, se transmit tot timpul mesaje de la o zonă a cortexului la alta, şi nu doar peste şanţul central. Cortexul face parte din materia cenuşie a creierului, plină de corpi celulari neuronali, dar mesajele călătoresc prin materia albă,

compusă din „cablurile“ creierului, acele proiecții ale neuronilor numite axoni. Fiecare axon e acoperit de un strat izolator, asemenea plasticului din jurul cablurilor electrice, numai că cel din jurul fibrelor nervoase este făcut dintr-o grăsime specială, numită mielină. Mănunchiurile de fibre mielinizate, care stabilesc legături între diversele zone ale cortexului, între cele două emisfere cerebrale şi între cortex şi insulele de materie cenuşie din adâncime, formează materia albă a creierului. În creierul nou-născutului există foarte puțină mielină; mare parte din creşterea creierului bebeluşului constă în izolarea cu mielină a fibrelor nervoase, nu în apariția de celule nervoase noi.

Privind din nou copia 3D a creierului meu, îmi văd cerebelul în partea din spate, cuibărit între lobii occipitali. Aici este coroborată informația senzorială din corp cu comenzile către muşchi, trimise de emisferele cerebrale ca să coordoneze mişcarea şi să mențină echilibrul. De aceea celor care au suferit leziuni ale cerebelului le e greu să se deplaseze uniform şi precis. Dar scanările funcționale ale unor creiere umane în timpul efectuării de diverse sarcini arată că cerebelul are, pe lângă funcția pur motorie, şi o funcție cognitivă. Apoi, dacă-mi întorc creierul 3D cu susul în jos, văd părțile trunchiului cerebral: mezencefalul, puntea şi bulbul rahidian. Întrevăd şi locul unde se află cortexul olfactiv, venit din negura evoluției, şi hipocampul.

Înțelegem astăzi ce şi unde se întâmplă în creier – pentru ce sunt responsabile diversele „module“ – datorită dezvoltării unor tehnologii care ne permit să vedem creierul viu, ca, de exemplu, rezonanța magnetică funcțională. Dar primele indicii că anumite regiuni ale creierului n-ar fi responsabile pentru anumite funcții au apărut cu mult înainte să se inventeze tehnicile de scanare cerebrală, grație studiilor de caz asupra persoanelor care suferiseră traume cerebrale localizate, ca urmare a unui accident vascular cerebral sau a unei răni. Cel mai celebru dintre cazurile timpurii documentate este cel al lui Phineas Gage, un american care lucra la căile ferate. Pe 13 septembrie 1948, Gage, pe atunci în vârstă de 25 de ani, a fost rănit într-o explozie: o rangă de fier i-a secționat craniul. A supraviețuit, în mod miraculos, şi a fost consultat de doctorul John Harlow, care şi-a publicat observațiile asupra accidentului în 1868, în *Publications of the Massachusetts Medical Society*.

Iată cum descrie Harlow momentul în care ranga a străpuns capul lui Gage:

„Proiectilul a intrat cu capătul ascuțit înainte, prin partea stângă a feței, chiar înaintea mandibulei, şi, străpungând oblic în sus şi în spate, a ieşit pe linia mediană, în partea posterioară a lobului frontal, aproape de sutura coronală."

În continuare, Harlow povesteşte cum Gage şi-a recăpătat repede cunoştința şi cum a vorbit la numai câteva minute după accident; după ce a fost dus cu căruța la hotelul unde stătea, Gage s-a ridicat şi a urcat scările spre camera lui. Harlow i-a examinat rănile: o gaură în obraz, pe unde intrase ranga, şi o alta, mare şi alungită, care măsura cinci pe nouă centimetri, în creştet. Apoi a palpat rănile. În gaura de sus îi încăpea tot arătătorul drept, iar în cavitatea din obraz – tot arătătorul stâng, dar vârfurile degetelor nu ajungeau să se întâlnească. Harlow i-a curățat rănile.

În lunile următoare, Harlow l-a mai consu4ltat pe Gage de câteva ori. În luna noiembrie a aceluiaşi an, nota că Gage „se recuperează într-un ritm constant" şi că avea o stare fizică bună. Se pare că Gage era nerăbdător să-şi reia munca, dar compania de căi ferate nu-l mai voia înapoi.

Harlow scria că, înainte de accident, Gage „era un om chibzuit, iar cei care-l cunoşteau îl considerau abil şi inteligent, foarte energic şi hotărât în tot ceea ce-şi propunea să întreprindă". Superiorii îl „considerau cel mai destoinic şi capabil şef de echipă din câți aveau". Dar accidentul îi schimbase personalitatea. Acum era „nestatornic, necioplit, scotea uneori pe gură cele mai necuviincioase măscări […], nerăbdător […], uneori de o încăpățânare de fier, însă capricios şi schimbător […]; mintea i se schimbase cu totul, în asemenea măsură, încât prietenii şi cunoştințele spuneau că «nu mai era acelaşi Gage»".

Phineas Gage şi-a petrecut următorii patru ani călătorind prin statul New York şi prin Noua Anglie şi s-a alăturat pentru o vreme, cu povestea lui, circului Barnum. De acolo a plecat în Chile, apoi, opt ani mai târziu, la San Francisco, unde trăiau mama şi sora lui. Schimba des slujbele, nu reuşea să păstreze nici una prea multă vreme. În 1861, a început să aibă crize de epilepsie, iar în luna mai

a aceluiaşi an, la doisprezece ani de la accident, a suferit o serie de convulsii severe şi a murit.

Nu i s-a făcut o autopsie, dar mama lui i-a îngăduit lui Harlow să deschidă mormântul şi să-i recupereze craniul „pentru progresul ştiinţei". S-a putut vedea astfel întocmai cum îl străpunsese ranga: intrase prin partea stângă a maxilarului, trecuse prin spatele orbitei stângi şi ieşise, prin osul frontal, în creştet. Ranga trebuie să fi trecut prin partea stângă a lobului cerebral frontal, iar Harlow specula că ar fi atins şi lobul temporal stâng şi ar fi rupt, poate, şi ventriculul lateral – spaţiul cu lichid din interiorul lobului temporal.

La mai bine de 150 de ani după ce Phineas Gage a fost rănit în acest mod cu totul neobişnuit şi a supravieţuit, o echipă de anatomişti şi radiologi de la Harvard Medical School i-au analizat din nou craniul, de data aceasta printr-o tomografie computerizată (TC). Cercetătorii au făcut o reconstituire 3D a craniului lui Gage pe baza datelor obţinute prin scanare, ceea ce le-a permis să reproducă traiectoria răngii groase de 3 cm. Era evident că, de fapt, lobul temporal al creierului lui Gage rămăsese intact, iar bara de fier trecuse doar prin lobul frontal stâng. Această traiectorie nu i-a afectat direct zona motorie a lobului frontal, ceea ce explică de ce Gage nu a rămas paralizat. Ranga de fier a trecut foarte aproape de artera carotidă internă de la baza craniului şi de sinusul sagital superior (o venă îmbrăcată în straturi de meninge) din vârful craniului. Dacă ar fi atins vreunul dintre aceste vase sangvine mari, ar fi provocat o sângerare masivă, iar rana s-ar fi dovedit, fără îndoială, fatală.

Am făcut progrese mari de pe vremea când accidentul lui Phineas Gage era o dovadă că lobul frontal din creier are legătură cu raţionamentul, luarea de decizii şi comportamentul social. Studii funcţionale ale creierului efectuate mult mai recent au arătat că aceste funcţii cognitive „superioare" se desfăşoară în partea anterioară a lobului frontal, care se numeşte cortex prefrontal şi se află chiar în faţa cortexului motor. Pe atunci, oamenii de ştiinţă nu au dat prea mare atenţie lecţiei care se desprindea din accidentul lui Gage: aceea că anumite zone din creier răspund de anumite funcţii. Pare incredibil că descoperirile lui Harlow au trecut neobservate, mai ales dacă ne gândim că, în ziua de azi, deducţiile lui sunt de la sine înţelese.

Până în secolul al XIX-lea, creierul era considerat, la fel ca ficatul, o masă omogenă din punct de vedere al funcțiilor. Frenologii sugeraseră că diverse zone din creier erau legate de anumite funcții cognitive – dar modul lor de a interpreta proeminențele de pe cranii avea o temelie şubredă, pseudoştiințifică.

Prima dovadă general acceptată de specializare funcțională a zonelor din creier provine din cercetările doctorului, anatomistului şi antropologului francez Paul Broca. Examinând creierele pacienților care suferiseră traume cerebrale şi aveau dificultăți de vorbire, Paul Broca a identificat o regiune din lobul frontal care părea responsabilă de limbajul vorbit. În 1861, şi-a publicat descoperirile sub forma unei lucrări cu titlul *Sur le principe des localisations cérébrales* („Despre principiul localizării cerebrale"); coincidența a făcut ca Phineas Gage să moară în acelaşi an.

În 1874, un neurolog german pe nume Carl Wernicke a venit cu ideea că partea superioară a lobului temporal este răspunzătoare pentru înțelegerea limbajului, din nou pornind de la dificultățile pacienților care suferiseră leziuni în acea zonă din creier. Studiile neurologice moderne ne-au ajutat să înțelegem mai bine relația dintre anatomie şi funcțiile creierului, dar regiunile identificate de cei doi pionieri se numesc în continuare „aria lui Broca" şi „aria lui Wernicke".

Harta cortexului a fost trasată la fel cum este trasată harta unei țări, prin studii topografice şi explorare. În cele din urmă, au fost desenate şi definite toate continentele, țările şi insulele din creier, ca pe un glob pământesc. Dacă deschideți orice manual de neuroanatomie, veți vedea zonele creierului, circumscrise cu precizie şi etichetate cu grijă. Numai că nu e atât de simplu. Bineînțeles că nu e, doar vorbim de *creier*! Numai în neocortex se află circa 13 miliarde de neuroni, aşa că, dacă calculăm o medie de circa 7 000 de conexiuni sau sinapse per neuron, avem în cortex aproape 100 de trilioane de conexiuni sinaptice. Astfel de numere mă neliniştesc. Una e să cartografiezi zonele generale din creier care au legătură cu diverse funcții, şi cu totul altceva este să încerci să desenezi o hartă reală a tuturor conexiunilor cerebrale. Şi, totuşi, unii neurologi au curajul să încerce.

În 2007, o echipă de cercetători de la Harvard Medical School, conduşi de profesorii Jeff Lichtman şi Joshua Sanes, au inventat o nouă tehnică de scanare: un sistem de cartografiere a neuronilor cu

mai multe culori, gândit să scoată la iveală conectivitatea complexă a creierului. Cu ajutorul ingineriei genetice, au introdus gene suplimentare în genomul unor şoareci. Genele respective conţineau instrucţiunile necesare producerii unei proteine fluorescente de diverse culori, care avea să dea luminescenţă neuronilor de şoareci. Combinaţiile aleatorii de culori au generat peste o sută de nuanţe, cu ajutorul cărora urmau să fie identificaţi individual neuronii. Analizând la microscop, cu ajutorul culorilor, secţiuni transversale din creierul şoarecilor, cercetătorii au reuşit să urmărească precis fibrele lungi ale celulelor nervoase şi să identifice celulele care se conectau prin sinapse. Au mai avut şi ideea inspirată de a boteza metoda „Brainbow“[1].

Acum câţiva ani am avut norocul de a face cunoştinţă cu Jeff Lichtman la Harvard. Am stat de vorbă despre unicitatea creierului uman. Avem un creier foarte mare, cu o mulţime de neuroni, dar Jeff afirma cu tărie că ceea ce ne face pe noi, oamenii, unici nu ţine doar de mărimea creierului şi nici măcar de numărul de neuroni: importante sunt circuitele, conectivitatea dintre neuroni. La animalele primitive, sau cel puţin primitive în această privinţă, cum ar fi, de exemplu, mult studiatul vierme *Caenorhabditis elegans* (favorit al embriologilor de pretutindeni), care nu are decât 300 de neuroni cerebrali, legăturile erau în mare parte determinate genetic. La primate, şi în special la oameni, programarea genetică stabileşte o gamă de posibilităţi, care sunt apoi rafinate prin interacţiunea individului cu mediul. La naştere, puiul de om are deja majoritatea neuronilor şi mult prea multe conexiuni. Nu e o greşeală, nici pe departe; este un aspect esenţial al dezvoltării sistemelor nervoase complexe. Conexiunile superflue sunt retezate ca ramurile de prisos ale unui copac pe măsură ce se dezvoltă creierul, în funcţie de experienţele avute. Rezultatul va fi că fiecare neuron îşi limitează şi, în acelaşi timp, îşi întăreşte legăturile stabilite cu alţi neuroni. Conexiunile nu sunt doar şterse, ci şi repoziţionate într-o arie mai restrânsă sau mai strategică. Jeff observase un proces similar legat de inervarea fibrelor musculare. La naştere, fiecare neuron motor inervează multe fibre musculare şi fiecare fibră musculară este inervată de o multitudine de neuroni. Urmează o competiţie în care fiecare axon se luptă să

1. De la *brain*, creier, şi *rainbow*, curcubeu (n. tr.).

ajungă la fibra musculară, dar doar unul va câştiga. (E fascinantă perspectiva aceasta asupra dezvoltării: suntem o colonie complexă de celule care s-au luptat pentru supraviețuire.)

Pentru că au copilăria cea mai lungă dintre toate mamiferele, oamenii au extins perioada în care sunt reduse conexiunile din creier; de fapt, continuăm acest proces de reducție – şi de învățare – toată viața. Creierul nu e nicidecum determinat genetic, ci este deopotrivă înnăscut şi dobândit. Genele stabilesc gama de posibilități, iar interacțiunea cu mediul (inclusiv cu cel cultural, fireşte, care are un rol foarte important) sculptează conexiunile din creierul adult.

În opinia lui Jeff, incredibila complexitate a creierului uman lasă loc şi liberului-arbitru: „Există atâția factori, atâta complexitate, încât este imposibil să prevezi rezultatele – ori există liberul-arbitru, ori complexitatea este atât de mare, încât ar putea la fel de bine să existe."

L-am întrebat despre cartografierea creierului uman şi despre cât a fost de ciudat să folosească o rețea de neuroni pentru a-şi reprezenta şi a încerca să înțeleagă o rețea de neuroni. „E o muncă ciudat de circulară", mi-a confirmat el. „Folosim o maşinărie foarte complexă ca să analizăm maşinăria foarte complexă pe care o folosim. Mai ales când analizăm conexiunile vizuale din talamus. Folosim conexiunile respective din propriul creier ca să interpretăm imaginile conexiunilor…"

Era clar că Jeff era pregătit să fie uluit şi derutat. Privea filozofic ideea de a separa în segmente creierul uman, de a-l dezasambla şi a-i înțelege părțile componente, apoi de a-l asambla la loc. „Cred că mințile noastre sunt ceva fizic. Dar, pe lângă structura fizică, descoperim şi procesul dinamic – funcționarea celulelor nervoase, impulsurile electrice care se transmit prin conexiuni. Totuşi, chiar şi neurolog fiind, mi se pare straniu că în creierul uman nu există altceva decât aceste conexiuni."

Oricum ne-am reprezenta creierul şi oricum am încerca să-l înțelegem, fie că proiectăm un model solid, tridimensional al lui pornind de la scanarea prin rezonanță magnetică, fie că cartografiem neuronii şi legăturile dintre ei, nu reuşim nicicum să surprindem esența reală a ceea ce se află în craniile noastre. Poate într-o zi vom cunoaşte toate conexiunile şi vom înțelege exact şi foarte amănunțit cum ne

funcționează creierul, dar mă îndoiesc că impresia aceasta se va schimba, chiar şi atunci. E ca şi cum mintea ar fi hotărâtă să rămână misterioasă, experimentală, incognoscibilă.

Domeniul de lucru al lui Jeff Lichtman este de fapt anatomia – chiar dacă la scară de microscop electronic. Dar ce fac propriu-zis miliardele acelea de conexiuni? Un mod de a studia problema este să ne întoarcem la originile acestei ramuri a ştiinţei şi să examinăm persoanele cu leziuni cerebrale şi dificultăți funcționale, ca Phineas Gage. Dar acum avem la dispoziție şi tehnologia necesară pentru a urmări activitatea creierului viu. Pare înspăimântător, dar dispunem astăzi de mai multe metode complet neinvazive prin care neurologii pot studia creierul.

Un mod neinvaziv de a analiza funcțiile creierului este înregistrarea activității sale electrice cu ajutorul unor electrozi plasați la nivelul scalpului; metoda se numeşte electroencefalografie (EEG). Dar este greu de spus cu precizie unde anume se petrece activitatea electrică în creier. Alte metode de scanare funcțională măsoară activitatea cerebrală prin derivatele sale. Tomografia cu emisie de pozitroni (PET) foloseşte rata metabolizării glucozei sau fluxul sangvin ca repere ale activității metabolice din țesutul cerebral. Cu ajutorul rezonanței magnetice funcționale (RMNf) se pot identifica regiunile active din țesutul cerebral, după creşterea fluxului sangvin în zonele respective. Scanările funcționale ale creierului au arătat că, deşi se poate cartografia funcția diverselor zone ale cortexului, limitele zonelor respective sunt neclare, iar o singură funcție poate folosi mai multe regiuni din cortex. Importantă este conectivitatea dintre diversele zone.

Rămâne în continuare o prăpastie enormă între neuroanatomia fină a lui Jeff Lichtman, în care sunt analizați individual neuronii, axonii, dendritele şi sinapsele, şi imaginile din tuşe mai groase produse de scanarea funcțională. Dar trebuie să sperăm că, la un moment dat în viitor, cele două sfere de cercetare se vor apropia şi vom obține o imagine la rezoluție înaltă, detaliată, a anatomiei funcționale a creierului.

În cele câteva situații când mi s-au făcut scanări RMNf, am fost uimită să văd cum îmi funcționează creierul. La prima scanare, acum câțiva ani, am fost uimită să văd cum se luminau zonele din cortexul motor care controlează muşchii mâinilor atunci când mişcam degetele.

Dar mă aşteptam la asta: în fond, ştiam unde se află cortexul motor. A doua scanare însă, efectuată în 2011, a fost mai surprinzătoare. Am aflat cu această ocazie despre o descoperire recentă privind creierul: un secret care nu-mi fusese nicidecum dezvăluit la cursul de neuroanatomie, la facultatea de medicină, la începutul anilor ’90.

NEURONI-OGLINDĂ

Într-o dimineață rece, în ianuarie 2011, am luat trenul spre Londra şi am ajuns la Birkbeck College, într-o stare de trepidație crescândă. Nu aveam nici un motiv să mă testez clinic, dar, când faci o astfel de analiză, nu poți scăpa de teama că o să descoperi ceva neaşteptat, poate chiar sumbru. Deşi, rațional vorbind, aş prefera să ştiu dacă ceva e în neregulă şi deşi sunt conştientă că şansele de a descoperi probleme de sănătate astfel sunt foarte mici, tot n-am putut să scap de emoții.

Tocmai mă apropiam de intrarea în facultate, când m-am ciocnit de un coleg, Michael Mosley, medic devenit prezentator de televiziune. Urma să i se aplice o procedură medicală (tot pentru filmări, nu din vreun motiv clinic) ce implica o lezare temporară a creierului: mai precis, urma să-i fie dezactivată zona lui Broca, ceea ce însemna că n-avea să poată vorbi o vreme. (Odată, un producător m-a întrebat dacă aş fi dispusă să trec prin aceeaşi procedură şi am refuzat. Pe lângă faptul că mi se părea înfricoşător să te supui la aşa ceva în numele ştiinței televizate, mă îngrijorau foarte mult consecințele – ştiu că şansele sunt minuscule, dar *dacă* nu-mi reveneam complet?) I-am spus lui Michael că era mult mai curajos decât fusesem eu. Nu l-am revăzut în ziua aceea, dar ne-am întâlnit multe luni mai târziu şi mă bucur să spun că părea să-şi fi recăpătat complet capacitatea de a comunica.

Odată intrată, am coborât la subsol, unde, în capătul unui culoar, mă aştepta dr. Geoff Bird, în sala de rezonanță magnetică. Studiile lui se concentrează pe utilizarea RMNf pentru a analiza modul în care ne imităm unii pe alții, dar şi pe localizarea în creier a unor funcții mai nebuloase – atenția, emoțiile şi empatia.

M-am îmbrăcat în haine fără piese metalice şi mi-am scos bijuteriile; eram gata să intru în zona de acțiune a câmpului magnetic de o putere enormă. M-am aşezat pe marginea patului îngust, care avea

să mă introducă în scaner, în timp ce Geoff recapitula procedura pentru test. Apoi mi-am pus dopuri în urechi (aparatele de rezonanță magnetică scot nişte sunete ascuțite şi puternice) şi m-am întins. Geoff mi-a pus pe cap un fel de cască în care se montase o bobină de radiofrecvență, esențială în procesul de scanare. Dat fiind că se lucra cu unde de radiofrecvență, erau prevăzute, din fericire, pauze între scanări, ca să nu mi se încălzească prea mult capul. Acum chiar că nu mai puteam da înapoi; Geoff a ieşit din încăpere şi a închis uşa grea în spatele lui. Dar, prin interfon, puteam comunica în continuare cu el şi cu echipa de filmare, care se afla în camera de control.

Acum că eram singură în sala cu scanerul, maşinăria s-a pus în mişcare, m-a ridicat, iar apoi m-a împins până când am intrat cu capul în tubul uriaş. Mulțumită unei oglinzi mici, plasată oblic pe casca de pe cap, puteam vedea în afara scanerului – distingeam nişte siluete în camera de control. Geoff mai pusese un ecran opac la intrarea în scaner, pe care erau proiectate instrucțiunile. Am început, şi pe ecran a apărut o serie de cuvinte: „arată cu degetul“, „pumn“, „întinde“, „degetul mare“. După fiecare cuvânt, trebuia să fac mişcarea corespunzătoare cu mâna dreaptă, revenind între poziții la o postură relaxată, de odihnă. („Arată cu degetul“ şi „pumn“ sunt de la sine înțelese; „întinde“ însemna să-mi răsfir degetele întinse, iar „degetul mare“ însemna să fac un gest asemenea celui care înseamnă „OK“.) Cuvintele se derulau pe ecran, iar eu de-abia reuşeam să țin pasul. Uneori încercam să anticipez cuvântul următor şi eşuam lamentabil – întindeam arătătorul în loc să ridic degetul mare, răsfiram degetele în loc să le strâng sub formă de pumn. Mi-am dat seama că trebuia să mă concentrez foarte bine, dar tot făceam greşeli şi mă certam apoi. Nu voiam să stric experimentul. După fiecare set de instrucțiuni şi gesturi manuale urma un clip scurt şi câtuşi de puțin interesant, în care apăreau diverse mâini făcând gesturi similare. Rolul meu era să stau nemişcată şi să privesc. După câteva cicluri, până şi asta a început să mi se pară foarte greu, fiindcă mă plictiseam repede şi îmi rătăcea mintea la gânduri mai interesante, cum ar fi prânzul. Apoi îmi reveneam şi mă străduiam să rămân atentă.

După o vreme, Geoff mi-a arătat rezultatele scanării în formă vizuală: zonele active ale creierului meu, conturate cu roşu pe o imagine cenuşie a creierului. Rezultatele erau uluitoare: când mişcam

mâna, se aprindeau zone din lobul frontal, din cortexul prefrontal, implicat în planificarea mişcărilor, şi, în mod surprinzător, aceleaşi regiuni se activau şi când *urmăream* clipul în care alții efectuau mişcări similare ale mâinilor.

Aşadar, în creierul meu exista dovada că neuronii se activau nu doar atunci când făceam anumite acțiuni, ci şi atunci când îi priveam pe alții făcându-le. Şi tu ai astfel de neuroni. Cu toții îi avem. Se cheamă „neuroni-oglindă" şi fac neurologia cognitivă mai complexă şi mai fascinantă. De fapt, nici măcar nu e nevoie să *vezi* pe cineva făcând ceva ca să se activeze neuronii-oglindă: aceştia pot deveni activi numai când auzim sunetul corespunzător unei acțiuni. S-au făcut demonstrații la maimuțe, cu spartul de nuci, şi la oameni, care au reacționat la auzul unei voci omeneşti. Mai mult, neuronii aceştia sunt foarte deştepți – sunt activate nu doar de acțiunile simple, ci şi de acțiuni care au acelaşi scop. Se pare că neuronii-oglindă ne ajută să înțelegem intenția din spatele fiecărei acțiuni.

Gândeşte-te numai câte lucruri ai învățat privind sau imitând pe altcineva. Sunt prea multe ca să le ținem şirul, iar fenomenul începe înainte de perioada primelor amintiri. Oamenii se pricep extraordinar de bine să se imite unii pe alții, aşa că neuronii-oglindă sunt extrem de importanți pentru noi (deşi nu suntem singurele ființe care îi au), fiindcă stau la baza capacității noastre de a-i imita pe ceilalți şi de a învăța de la ei.

Neurologul Vilayanur S. Ramachandran susține că neuronii-oglindă ne conferă o aptitudine înnăscută pentru imitație, astfel încât nou-născutul îşi poate imita mama scoțând limba. Exemplul mi-a atras atenția: am scos limba la cei doi copii ai mei, când erau foarte mici, şi m-a uimit capacitatea lor de a mă imita. Gândeşte-te ce înseamnă asta: bebeluşul nu are nevoie să exerseze în oglindă ca să copieze acțiunea de a scoate limba (oricum nu şi-ar da seama că persoana din oglindă e el însuşi). Creierul copilului pare setat deja să facă legătura dintre chipurile celorlalți şi chipul lui.

Neuronii-oglindă se activează când îi privim sau îi auzim pe alții făcând diverse acțiuni sau pronunțând anumite cuvinte, dar funcțiile lor par să fie mult mai vaste. Când vedem pe cineva că suferă sau că e supărat, empatizăm: nu doar că îi înțelegem durerea în plan intelectual, ci *o şi simțim*. Ramachandran numeşte neuronii-oglindă

„neuroni Gandhi“ – estompează limita dintre noi înşine şi ceilalți. Oamenii au o capacitate extraordinară de a înțelege ce fac şi ce gândesc ceilalți – „citesc gânduri“ –, capacitate care ar putea depinde şi ea de neuronii-oglindă. Se pare, aşadar, că neuronii aceştia aparte au un rol esențial în funcționarea noastră ca specie socială, în faptul că putem empatiza, coopera şi, firește, că ne putem minți unii pe alții. Ramachandran mai spune că neuronii-oglindă sunt esențiali pentru evoluția umană într-un sens mult mai general, fiindcă permit dezvoltarea limbajului, a culturii şi a civilizației.

L-am întrebat pe Geoff despre neuronii-oglindă. Tocmai cerceta presupusa legătură între aceşti neuroni şi empatie, precum şi ipoteza mai controversată potrivit căreia autismul ar avea legătură cu lipsa de activitate a neuronilor-oglindă. Într-un fel, ipoteza părea logică, dar Geoff nu era convins că dovezile erau suficient de solide; studiile de până atunci obținuseră rezultate neconcludente. Nu era sigur nici dacă neuronii-oglindă şi funcționalitatea lor erau o trăsătură înnăscută a creierului uman. Geoff bănuia că neuronii-oglindă ar putea fi o componentă dobândită a creierului – că ar fi încurajați să se dezvolte, de exemplu, de feedbackul pozitiv pe care îl primesc cei care imită. Oare îmi încurajam copilul să mă imite zâmbindu-i?

Neuronii-oglindă nu se întâlnesc doar la oameni, ci şi la alte primate şi chiar la maimuțele mai mici. Dar de unde au apărut? Se poate ca apariția lor să fi fost favorizată de selecția naturală. În acest caz, e posibil să avem neuronii-oglindă încă din naştere şi, astfel, orice individ (maimuță sau om) care e dotat cu aceşti neuroni are, mulțumită lor, şi capacitatea înnăscută de a înțelege acțiunile celorlalți şi, prin urmare, se bucură de un avantaj evolutiv. Dar dacă neuronii-oglindă sunt dobândiți prin învățare? Ştim că e posibil să fie modelați prin învățare, prin procesul în care individul urmăreşte şi efectuează sarcini, stabilind legături între „acțiunea mea“ şi „acțiunea altcuiva“. În scenariul acesta, neuronii motori devin neuroni-oglindă şi fac legătura între a efectua o sarcină şi a urmări pe altcineva efectuând acea sarcină prin învățare. Se poate ca selecția naturală să fi favorizat tipul acesta de învățare, şi nu neuronii-oglindă. Există diferențe subtile în modul în care operează sistemul neuronilor-oglindă la maimuțe şi la oameni; aceste diferențe sunt mai uşor de explicat dacă acceptăm ipoteza că neuronii-oglindă sunt dobândiți prin imitație, iar nu înnăscuți, atât la oameni, cât şi la maimuțe.

Cum rămâne însă cu faptul că bebeluşii mei mă imitau scoțând limba? Nu e oare acest gest o dovadă a originii înnăscute a neuronilor-oglindă? Nou-născuții nu au destulă experiență ca să poată face asocieri între acțiunile lor şi ale celorlalți. Din păcate, gestul cu pricina e un exemplu izolat de expresie pe care nou-născuții par s-o copieze de la adulți, iar unii oameni de ştiință susțin că nici măcar nu e vorba de imitare, ci de o reacție oarecare la un stimul. Se pare că dovezile în favoarea prezenței neuronilor-oglindă în creierul nou-născuților sunt nesatisfăcătoare. Poate copilul meu scoate limba ca reacție la tot felul de lucruri, dar eu n-am observat gestul lui decât atunci când a apărut ca reacție la faptul că eu însămi scoteam limba.

Există şi dovezi care susțin că experiența ar modifica sistemul neuronilor-oglindă. Pianiştii prezintă o activare cerebrală mai intensă decât ceilalți când privesc pe altcineva cântând la pian. La fel şi balerinii atunci când urmăresc un moment de balet. Observațiile acestea favorizează ipoteza conform căreia dezvoltăm neuroni-oglindă învățând prin imitație.

Până la urmă, s-ar putea ca faptul că bebeluşul meu scoate limba să nu se datoreze neuronilor-oglindă, dar să însemne că lucrează la propriul sistem de neuroni-oglindă. Îşi priveşte mâinile îndelung, mişcă degetele şi le urmăreşte atent, tendință apărută, poate, ca efect secundar al faptului că nou-născuții sunt destul de neajutorați, pentru a ne ajuta să învățăm să ne controlăm cu precizie mişcările mâinilor şi să facem legătura între vedere şi acțiunea muşchilor. Dexteritatea mâinilor este esențială pentru capacitatea omului de a crea unelte – de a crea tehnologie. Poate că neuronii-oglindă şi capacitatea de a face legătura dintre propriile acțiuni şi acțiunile altora nu sunt decât un produs secundar al coordonării între vedere şi mişcare.

Este mai probabil, se pare, ca neuronii-oglindă să fie o manifestare a procesului de a învăța să asociem sarcinile pe care le efectuăm cu cele văzute la alții. Dar nu apar doar la oameni, aşadar, deşi sunt fascinanți, nu explică unicitatea omului. În plus, deşi sunt, pesemne, foarte importanți în interacțiunea socială (şi în interpretarea unor acțiuni elementare), sunt mai degrabă un rezultat al naturii noastre extrem de sociabile decât o cauză a ei.

Totuşi, neuronii-oglindă rămân un mister, fiindcă nu se potrivesc cu ceea ce se aşteptau neurologii să descopere. Poate suntem naivi

în încercarea noastră de a eticheta bucăți întregi din cortex ca fiind pur şi simplu „senzoriale“ sau „motorii“. Neuronilor-oglindă nu le plac stereotipurile; ne-au învățat, printre altele, să fim deschişi la minte când vine vorba de propriul creier.

E foarte greu de spus în ce fel diferă creierul noastre de creierul altor primate. Avem un creier enorm, mult mai mare chiar şi decât al celor mai apropiați veri ai noştri din rândul primatelor, e greu însă să ne dăm seama ce scop are, în fond, atâta țesut cerebral în plus; de aceea şi este atât de frustrantă dezbaterea despre neuronii-oglindă. Pentru o clipă, părea că am dat peste ceva cu adevărat unic în creierul uman, ceva fundamental omenesc, care putea explica succesul nostru ca specie. Dar neuronii-oglindă nu sunt, de fapt, o trăsătură exclusiv umană.

URIAŞUL CREIER UMAN

Primatele, de exemplu cimpanzeii, au creierul mai mare decât majoritatea mamiferelor, inclusiv decât maimuțele inferioare. Dar creierul de cimpanzeu nu este nici pe departe la fel de mare ca cel uman. Este foarte important însă să ținem cont de mărimea corpului. Creierul caşalotului cântăreşte cam 8 kg, adică de aproximativ şase ori mai mult decât cel uman. Dar, deşi enorm, nu e la fel de impresionant dacă luăm în considerare masa corporală a animalului – circa 20 de tone, în comparație cu cele aproximativ 70 kg ale omului. Cu alte cuvinte, creierul caşalotului reprezintă 0,04% din totalul masei sale corporale, în timp ce creierul uman reprezintă cam 2%.

Care e, de fapt, semnificația acestor cifre? Animalele mari nu sunt simple versiuni la scară mai mare ale animalelor mici – legile fizicii şi ale fiziologiei dictează schimbări necesare ale proporțiilor în funcție de mărimea organismului, pe lângă faptul că selecția naturală ne modelează corpul diferit. Nu ne putem aştepta de la creier să reprezinte acelaşi procent din masa corporală, indiferent de mărimea animalului. S-a spus că o metodă mai bună de evaluare a mărimii creierului este CE, „coeficientul de encefalizare“. La mai toate mamiferele, masa cerebrală are un raport de circa 0,75 cu masa corporală. Dacă un mamifer are creierul de mărimea preconizată pe baza acestui raport, CE este 1. Cimpanzeii au un CE de aproximativ 2:

creierul lor este de două ori mai mare decât ne-am aştepta la un mamifer de mărimea lor. Oamenii au un CE de peste 5 – adică de cinci ori mai mare decât ne-am aştepta, având în vedere dimensiunea lor. Ştim sigur că, de-a lungul evoluției umane, corpul s-a mărit; masa corporală medie a australopitecilor de acum trei milioane de ani era de doar 40 de kilograme, mai mult sau mai puțin – probabil că puțin peste jumătate din greutatea ta. Ne-am aştepta ca şi creierul să fi crescut puțin odată cu masa corporală, dar dezvoltarea lui în decursul evoluției umane a fost disproporționată, fapt care explică de ce ai un CE atât de mare în comparație cu alte primate.

Dimensiunea creierului uman variază uimitor de mult. La unii dintre noi creierul are un volum de aproximativ 1 l, la alții un volum de până la 1,7 l (mare parte din variație depinde de mărimea corpului). În medie însă, volumul creierului uman este de aproximativ 1,4 l.

Acum chiar sunt curioasă ce volum are creierul meu. În fond, am un model 3D foarte precis; din câte se pare, are un volum de *exact* 1,4 l (conform vasului meu gradat de bucătărie). E cât se poate de comun, dar, în acelaşi timp, impresionant în comparație cu al altor mamifere.

Comparativ, creierul cimpanzeilor are, în medie, mai puțin de 380 ml, puțin mai mult decât creierul unui nou-născut. Creierul meu omenesc de mărime mijlocie este de peste trei ori şi jumătate mai mare şi am de vreo două ori mai mulți neuroni în materia cenuşie corticală decât ar avea cimpanzeul în cortexul cerebral.

Creierul nostru nu este doar mai mare decât cel al rudelor noastre cele mai apropiate, dar, de-a lungul evoluției, a demonstrat şi că se poate reorganiza (mai ales în regiunea cortexului cerebral), după cum se vede din schimbarea proporțiilor lobilor cerebrali. Deşi, într-o oarecare măsură, cortexul cerebral uman arată ca o versiune la scară mărită a unui creier de cimpanzeu, unele zone sunt, proporțional, mai mici, iar altele, mai mari. Lobul occipital, responsabil de simțul văzului, este relativ mic. Cortexul vizual primar din creierul de cimpanzeu reprezintă peste 5% din totalul cortexului; la oameni, valoarea este de doar 2,3%. Cerebelul uman e şi el relativ mic: ca proporție din mărimea totală a creierului, e cu circa 20% mai mic decât la creierul de primate. Pe de altă parte, lobii parietali, temporali şi cortexul prefrontal al lobului frontal sunt relativ mari la oameni. E greu

de înțeles ce înseamnă propriu-zis diferențele acestea în ceea ce privește funcția, dar se pare că selecția naturală a intervenit atât asupra mărimii generale a creierului, cât şi asupra „modulelor“ care-l compun.

Putem presupune (cu prudență) că anumite zone din creierul nostru s-au mărit cu timpul ca urmare a selecției naturale. Strămoşii cu zone prefrontale şi lobi temporali ceva mai mari trebuie să fi avut un mic avantaj, astfel încât, în timp, regiunile respective au crescut disproporționat de mult. Care să fie de fapt avantajul? Pentru a afla, trebuie să analizăm funcția zonelor care au crescut. Firește, nu ne putem hazarda, fiindcă studiile asupra funcțiilor cerebrale arată că diversele sarcini nu antrenează de obicei o singură zonă din creier şi că funcționalitatea variază de la un individ la altul. Ştim totuşi că lobul temporal (mai mare cu 25% la oameni decât la alte primate) are legătură cu memoria şi cu limbajul. Această creştere pare să fi survenit foarte târziu în istoria noastră evolutivă – după cum ştim din analiza craniilor fosilizate. Lobul temporal se află în fosa craniană mijlocie de la baza craniului, deasupra stâncii osului temporal. Fosa craniană mijlocie este cam cu o cincime mai mare la craniul de *Homo sapiens* decât la speciile arhaice, inclusiv la neanderthalieni şi la *Homo heidelbergensis* (care ne-a fost, probabil, strămoş nouă şi omului de Neanderthal). Din păcate, nu putem şti ce înseamnă diferența aceasta cu privire la capacitatea de dezvoltare a limbajului de la o specie la alta.

Cortexul prefrontal dirijează aptitudinile cognitive „superioare“, ca limbajul, gândirea, planificarea şi comportamentul social – funcțiile pe care le-a pierdut bietul Phineas Gage după accident. Cortexul prefrontal mărit al omului reprezintă, poate, manifestarea fizică a mare parte din ceea ce considerăm a fi comportament uman modern – capacitatea noastră de a concepe idei abstracte şi de a le exprima în cuvinte vorbite sau scrise, apetența pentru cultură şi pentru rețelele sociale complexe.

Genul de interacțiune socială complexă în care ne implicăm noi, oamenii, pare să depindă de o capacitate anume, numită teoria minții, considerată cheia de boltă a psihologiei umane. E vorba de capacitatea de a ne atribui stări mentale nouă înşine şi altora şi de a înțelege că scopurile şi convingerile altora diferă de ale noastre. Înțelegem că purtarea celorlalți depinde de starea lor mentală şi putem

estima cum se vor comporta în anumite situații, fiindcă ne imaginăm ce gândesc şi ce simt. Capacitatea aceasta se dezvoltă în prima copilărie. Bebeluşii încep să observe încotro se îndreaptă atenția celorlalți, de exemplu, uitându-se în direcția spre care priveşte părintele, înainte de vârsta de şapte-nouă luni. Până să împlinească doi sau trei ani, copiii înțeleg că acțiunile celorlalți au un scop.

Ei bine, cimpanzeii sunt animale extrem de sociale, competitive şi cooperante şi ne-am aştepta ca unui astfel de animal să-i fie foarte folositoare capacitatea de a atribui stări mentale celor din jur. Dar au oare cimpanzeii teoria minții?

Studiile au avut rezultate contradictorii. Unul dintre ele, publicat în 1996, în care cimpanzeii cerşeau mâncare de la oameni, indiferent dacă aceştia din urmă aveau sau nu capul acoperit cu o găleată, a arătat că cimpanzeii nu înțeleg că ceilalți pot percepe o situație altfel decât ei. Astfel de studii dovedesc că cimpanzeii nu înțeleg decât comportamentul de suprafață. Pot estima cum se vor comporta ceilalți, dar previziunea lor se bazează pe experiențe anterioare şi nu presupune acel salt mental de care e nevoie pentru a ne imagina ce gândeşte altcineva şi pentru a putea, astfel, să-i prezicem corect comportamentul.

Cercetătorii au conceput teste pentru a afla dacă cimpanzeii înțeleg că scopul este cel care determină comportamentele: că un individ care face o acțiune are în minte un scop anume. Se poate ca primatele să înțeleagă că printr-o anumită acțiune se îndeplineşte un anumit scop, dar nu pricep că cel care face o acțiune *a avut intenția* să atingă un scop anume. Dacă însă cimpanzeii par să înțeleagă scopul atunci când actorul încearcă acțiunea şi nu reuşeşte, sau are un accident pe parcurs, faptul indică ceva mai profund. Dacă, în loc să imite încercarea nereuşită a actorului de a obține un anumit rezultat, cimpanzeul înțelege scopul real al acțiunii şi acționează la rândul lui pentru a atinge acel scop, avem motive să credem că cimpanzeul interpretează starea mentală a actorului. Michael Tomasello, care studiază atât cimpanzeii, cât şi copiii, crede că, mai nou, dovezile înclină în favoarea ipotezei că cimpanzeii ar poseda teoria minții. Având în vedere cât de multe reguli comportamentale şi contextuale trebuie să aplice, ca să ajungă la rezultate similare cu cele ale oamenilor în numeroasele experimente în care s-a încercat testarea capacității lor

de a evalua comportamentul motivat de un scop, este puțin probabil ca cimpanzeii să aibă doar o înțelegere superficială a lucrurilor.

Un alt indiciu că cimpanzeii ar poseda teoria minții este faptul că sunt conştienți de atenția altora. Urmăresc privirile (sau mai degrabă direcția capului, deşi e posibil ca această abilitate să le fie proprie mai degrabă oamenilor, datorită anatomiei ochilor, în care sclerotica (albul ochiului) facilitează mult urmărirea privirii). Cimpanzeii caută obiectul atenției altcuiva asemenea copiilor foarte mici. În studiile în care concurează pentru mâncare, comportamentul cimpanzeilor ar fi greu de explicat fără teoria minții. De exemplu, atunci când alți cimpanzei sunt suficient de aproape încât să-i vadă sau să-i audă, încearcă să ascundă faptul că sunt aproape de o sursă de hrană.

Multitudinea de studii complexe efectuate în ultimul deceniu indică o singură concluzie rezonabilă: aceea că cimpanzeii au o teorie a minții asemănătoare cu a noastră – sau, cum spunea Michael Tomasello, „înțeleg că şi ceilalți văd, aud şi ştiu lucruri". Dar acele părți din creierul nostru despre care se crede că ar fi implicate în interacțiunea socială sunt mult mai mari, proporțional vorbind.

Putem urmări expansiunea creierului uman şi, într-o oarecare măsură, a părților sale, analizând craniile fosile ale hominizilor preistorici. Creierul strămoşilor noştri foarte îndepărtați era cam de mărimea creierului de cimpanzeu. Hominidul de acum şase-şapte milioane de ani numit *Sahelanthropus tchadensis* (Toumai, pentru prieteni) avea un creier de doar 350 ml. Creierul mediu de *Australopithecus afarensis* (specie de hominizi care a trăit în Africa acum trei-patru milioane de ani şi din care face parte celebrul specimen Lucy) era de circa 440 ml, cu un CE de aproximativ 2,5 – nu cu mult mai mare decât al primatelor din ziua de azi. Deşi creierul lui *Homo erectus*, specie care a trăit în Africa şi în Asia cu două milioane de ani în urmă, pare să fi avut o dimensiune foarte variabilă, media fiind de aproximativ 910 ml, iar coeficientul de encefalizare mediu de 3,7. Dar creşterea cu adevărat impresionantă a creierului a survenit destul de târziu în evoluția omului. Acum aproximativ un milion de ani, odată cu apariția unor specii precum *Homo heidelbergensis*, omul de Neanderthal şi noi, *Homo sapiens*, apar creiere cu dimensiuni care depăşesc cu mult 1 l, iar coeficientul de encefalizare creşte până la nivelul omului modern, de 4-5.

Fireşte, dezvoltarea creierului a dus la mărirea cutiei craniene: craniul uman a trebuit să se lărgească pentru a face loc unui creier mai mare. La om, cutia cranianã domină scheletul capului, ceea ce nu se întâmplă la alte specii, nici chiar la cimpanzei, care, totuşi, au creiere relativ mari în comparație cu alte animale. Dar şi craniul a trebuit să-şi schimbe forma ca să facă loc lobului temporal mai mare. O consecință a acestei schimbări a fost, poate, înclinarea bazei craniului. Unghiul acesteia este o trăsătură caracteristică omului – mulțumită lui, în craniu încape un creier foarte mare.

Iată un exemplu bidimensional care mi se pare ilustrativ pentru ideea de mai sus: închipuie-ți un evantai spaniol deschis complet, astfel încât marginile, depărtate la 180°, formează o linie dreaptă. Poți mări evantaiul adăugându-i mai multe segmente şi deschizându-l, eventual, cu încă 40°. Nu l-ai putea ține la fel de bine în mână, dar evantaiul acesta supradimensionat arată cum, prin înclinarea bazei, craniul poate găzdui un creier mai mare. Schimbarea unghiului bazei a avut şi ea un efect secundar, anume retragerea spre interior a părții faciale a craniului, care a ajuns astfel sub partea frontală a cutiei craniene.

Deşi ne-a influențat puternic forma craniului, dezvoltarea creierului este foarte recentă în evoluția capului – parte anatomică importantă, care a apărut odată cu primele vertebrate. Povestea aceasta preistorică se regăseşte în dezvoltarea embrionară a craniului tău.

CRANII ŞI SIMŢURI

BAZA PE CARE SE FORMEAZĂ CRANIUL ŞI DEZVOLTAREA ORGANELOR CU CARE PERCEPEM LUMEA ÎNCONJURĂTOARE

„Ut imago est animi voltus sic indices oculi.“
(„Ochii sunt fereastra către suflet.“)

CICERO

CREASTA NEURALĂ ŞI ORIGINEA CRANIULUI

Ne aflăm în săptămâna a treia a dezvoltării tale embrionare, timp în care ți se formează tubul neural (din care se vor forma mai târziu creierul şi măduva spinării). Dar pe măsură ce se înalță plicile (cutele) neurale, care apoi se unesc alcătuind tubul neural, celulele de pe creasta fiecărei cute încep să se agite – sunt gata să evadeze. Când cutele se îmbină, celulele de pe creastă ridică ancora şi pornesc la drum, migrând prin embrion către diversele lor destinații. Această populație de celule este atât de importantă, încât uneori e numită „al patrulea strat germinativ", alături de ectoderm, mezoderm şi endoderm. Celulele acestea se răspândesc prin tot corpul şi formează o varietate de țesuturi, printre care, parțial, glandele suprarenale, membranele din jurul creierului şi unele fragmente din craniu – mai precis, oasele care formează fața. Toate vertebratele – adică orice peşte, amfibian, reptilă, pasăre sau mamifer la care te-ai putea gândi – au, în formă embrionară, astfel de celule în crestele neurale. Craniile sunt la fel de definitorii pentru vertebrate precum coloana vertebrală, iar celulele din crestele neurale sunt esențiale în formarea craniului.

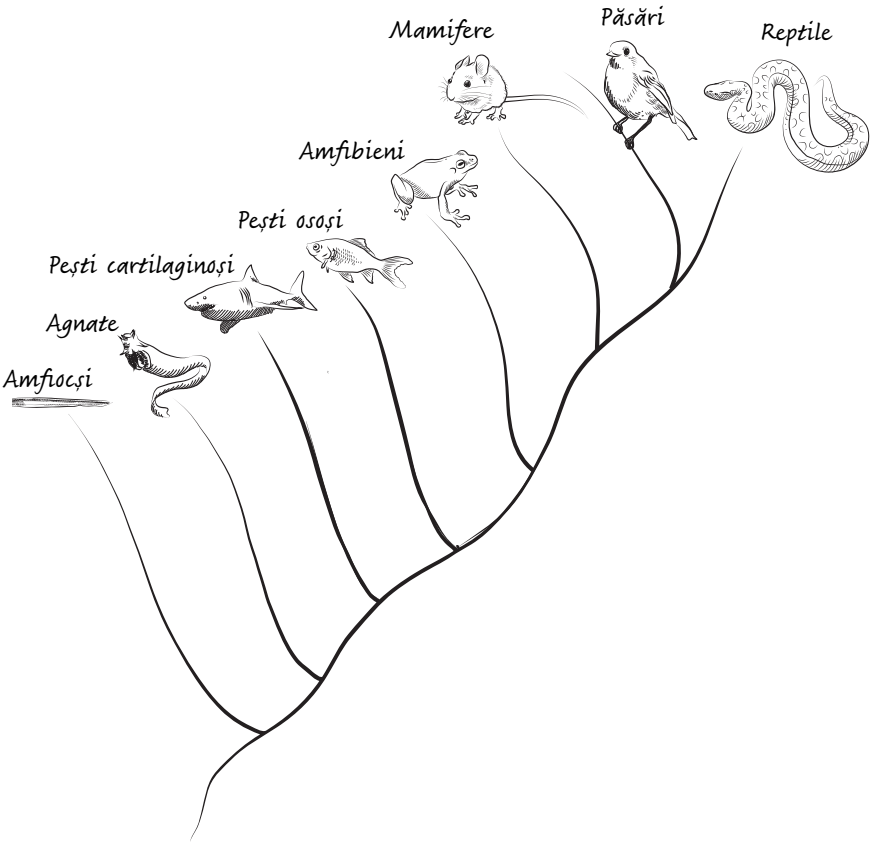
Dar cum au apărut crestele neurale (şi craniile) din senin, odată cu evoluția primelor vertebrate? Vorbim despre evoluție, nu despre creație divină, şi, după cum au observat câțiva biologi care studiază dezvoltarea organismelor, „structurile […] nu apar pur şi simplu din țărână". Aici ne vine în ajutor genetica. Micul amfiox face parte din încrengătura cordatelor, dar nu şi din cea a vertebratelor. Nu are nici țesutul din crestele neurale, nici craniu; de asemenea, nu avem nici un motiv să credem că vreuna din cele două trăsături a existat la prevertebratele preistorice ca *Haikouella*. Nu putem analiza ADN-ul de *Haikouella* (a dispărut de mult), dar *putem* studia genele rudei

sale în viață, amfioxul. Deşi îi despart 530 de milioane de ani de *Haikouella*, amfiocşii din ziua de azi chiar arată ca nişte „fosile vii“ şi e puțin probabil ca vreun strămoş al lor să fi căpătat caracteristici de vertebrată, ca țesutul din creasta neurală şi craniul, şi să le fi pierdut apoi. Este mult mai probabil ca cele două să nu fi existat la speciile dintre prevertebratele cambriene şi amfiocşi. Cu alte cuvinte, genele pentru creasta neurală ar trebui să lipsească cu desăvârşire din genomul amfioxului. Dacă vrem să aflăm care sunt genele care fac vertebratele să fie vertebrate, amfioxul ne va fi de ajutor tocmai prin ceea ce nu are.

Pentru a afla ce modificări genetice sunt răspunzătoare de „activarea“ celulelor din creasta neurală, sau de formarea craniului, cel mai bine ar fi să comparăm amfioxul cu o vertebrată relativ primitivă. (Altfel ne-ar deruta schimbările genetice care au dus mai târziu, în decursul evoluției vertebratelor, la trăsături noi, cum sunt, de exemplu, membrele.) Primele vertebrate au fost nişte peşti fără mandibulă, numiți „agnate“ (însemnând literal, în greacă, „fără mandibulă“), dintre care au supraviețuit până azi două grupuri: mixinele şi chişcarii.

Chişcarii şi-au atras o celebritate bizară întrucât, aşa cum povesteşte cronicarul Henry de Huntingdon, sunt alimentul care i-a adus moartea lui Henric I al Angliei. Henric I era fiul lui Wilhelm Cuceritorul şi a urcat pe tron în 1100, după ce fratele lui mai mare a murit într-un accident de vânătoare. A domnit 35 de ani, iar la vârsta de 68 de ani, ignorând complet sfaturile doctorului, a mâncat „chişcari cu nemiluita“, a doua zi s-a îmbolnăvit, iar în mai puțin de o săptămână a murit. Pare ciudat să mănânci chişcari, dar în Roma antică aceştia erau considerați o delicatesă, fiind agreați şi de aristocrații medievali. Am întrebat politicos pe Twitter dacă a mâncat cineva vreodată chişcar şi, dacă da, cum i s-a părut gustul. Răspunsurile au fost variate: „seamănă mult cu anghila“, „nămolos“, „seamănă cu puiul“, „ca săpunul“, aşa că n-am aflat mare lucru şi nici nu am mari şanse să aflu vreodată, fiindcă în Marea Britanie chişcarul de râu a devenit specie protejată. Se pare că în Japonia lucrurile stau altfel. Un prieten de-al meu, istoricul Neil Oliver, mi-a dat un răspuns splendid: „N-o să-ți vină să crezi, dar am mâncat chişcar la un banchet oferit de seniorul Satsuma, un shōgun, la reşedința lui din Kagoshima.“

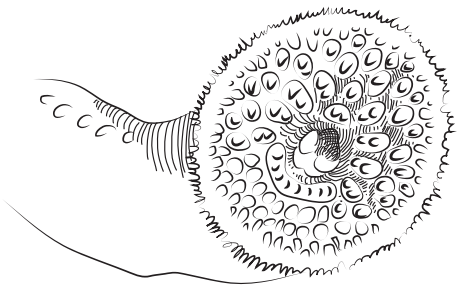
Unii chişcari trăiesc în râuri, alții în mări, dar toți arată ca țiparii: sunt lungi (până la un metru), flexibili şi nu au solzi. Dar, spre deo-



Arborele genealogic (cu cel mai vechi strămoș jos) al vertebratelor, al verilor lor de rangul întâi, agnatele (inclusiv chișcarii), și al verilor lor mai îndepărtați, amfiocșii.

sebire de țipari, chişcarii nu au mandibulă. Gura chişcarului seamănă cu o versiune miniaturală a gurii sarlacc-ului din *Războiul stelelor*. (De fapt, seamănă atât de tare, încât bănuiesc că cel care a creat decorurile a văzut un chişcar şi i s-a părut suficient de coşmaresc ca să-l ia drept model pentru extraterestrul înfiorător.)

Cum nu au mandibulă, agnatele nu pot mânca prea multe. Primele agnate se hrăneau prin filtrare, dar chişcarii moderni şi-au dezvoltat un mod de-a se hrăni din cale-afară de respingător. Sunt vampiri paraziți: se ataşează de victime cu gurile lor rotunde, pline de dinți



Chişcar

ascuțiți (rudele lor, mixinele, numite pe bună dreptate în engleză „peşti-cotoroanță“, sunt şi ele creaturi destul de respingătoare şi de macabre: se feresc de prădători eliberând cantități mari de mâzgă protectoare din glandele laterale şi invadează corpurile peştilor aflați pe moarte, ca să se hrănească din ei pe dinăuntru.)

Deşi au nişte obiceiuri dezgustătoare, agnatele sunt totuşi vertebrate, ceea ce înseamnă că au cranii, cel puțin la vârsta adultă. Larvele de chişcar nu au craniu – de fapt, seamănă foarte mult cu amfiocşii. Astfel, au (ca şi amfiocşii) orificii branhiale, pe spate, un tub neural gol pe dinăuntru, notocord, muşchi segmentați şi o coadă care se continuă după orificiul anal – toate caracteristicile la care te-ai aştepta de la o cordată. Dar, când ajung la maturitate, chişcarii dezvoltă un schelet cartilaginos intern, cu vertebre şi cutie cranianã: trăsăturile distinctive ale vertebratelor.

Comparația între genomul de chişcar şi cel de amfiox relevă discrepanțe clare. E ca un joc de tipul „găsiți deosebirile“. Mulțumită trăsăturilor sale aparte, chişcarul reuşeşte să treacă printr-o transformare incredibilă, de la o prevertebrată fără pretenții la o creatură cu coloană vertebrală şi craniu.

Elementele anatomice nu apar dintr-odată, ca din senin; la fel şi genele noi. De *undeva* trebuie să vină, iar genele noi apar, de obicei, ca duplicate ale celor existente, în urma unor erori de copiere a ADN-ului. Din analiza genomurilor reiese clar că în istoria vertebratelor s-au duplicat segmente mari de ADN. Mamiferele, de pildă, au patru grupuri de gene *Hox*, genele care generează modele, în timp

ce amfioxul nu are decât un grup. Amfioxul este o fosilă vie a strămoşilor îndepărtați ai vertebratelor, care se bazau pe un singur set de gene *Hox*, înainte de a se produce duplicările la scară largă.

Când apare în genom o genă-duplicat, se pot întâmpla mai multe lucruri. Uneori, una din versiuni poate fi redundantă şi poate degenera sau chiar dispărea cu totul. Dar există şi o posibilitate mai interesantă: una din gene poate continua să-şi îndeplinească vechea funcție, în timp ce duplicatul este liber să facă ceva nou. Se întâmplă şi ca genele genele să aibă dintru început mai mult de o singură funcție; de exemplu, genele se pot activa în etape diferite ale dezvoltării, îndeplinind de fiecare dată o altă sarcină. Aşadar, o a treia soartă posibilă pentru genele-duplicat se manifestă atunci când aceeaşi genă are două versiuni, care ajung să-şi împartă diferitele funcții. Ambele devin necesare în genom şi nici una din ele nu degenerează, dar pot evolua în direcții diferite şi pot căpăta, în cele din urmă, funcții noi.

În timpul formării tubului neural la amfioxul în creştere, se distinge un grup de celule care arată *aproape* la fel ca celulele din creasta neurală a embrionilor de vertebrate – apar într-o poziție asemănătoare şi activează gene similare. Celulele acestea care-fac-parte-din-creasta-neurală-dar-nu-tocmai se îndepărtează de tubul neural – dar nu prea mult. Diferența dintre ele şi celulele din creasta neurală întâlnite la vertebrate pare să se explice printr-un set anume de gene-duplicat, printre care se află gena FOXD3. Amfiocşii nu au decât un singur exemplar din gena FOXD, în timp ce vertebratele au patru sau cinci. La amfiox, gena FOXD rămâne inactivă în jurul tubului neural în formare, dar la chişcari şi alte vertebrate una dintre copii, FOXD3, munceşte din greu în vârful cutei neurale. FOXD3 pare să fie una dintre genele care îi „spun“ crestei neurale ce este şi îi declanşează marşul migrator prin embrion.

Acum mai multe milioane de ani, câteva gene-duplicat entuziaste au adoptat o multitudine de roluri noi în embrionul în creştere şi au dus la apariția vertebratelor, dotate cu creste neurale şi cu cranii. Mult mai recent, aceleaşi gene s-au activat în embrionul care ai fost chiar tu. Celulele de pe creasta cutelor tale neurale au reacționat la semnalul genetic, care datează încă de la primii tăi strămoşi vertebrați. Fiecare celulă şi-a dezvoltat mici protuberanțe, foarte asemănătoare cu pseudopodele („picioare false“, în greacă) amibei, apoi a

plecat târâş prin îmbulzeala de celule din stratul mijlociu al discului germinativ din embrion.

Unele celule n-au ajuns prea departe, ci au rămas aproape de măduva spinării şi au format aglomerări – ganglioni – de celule nervoase senzoriale. Altele au ajuns la gât, aşteptând să devină celulele secretoare de hormoni din glanda ta tiroidă. Altele s-au dus în zona unde se va forma gura, pentru a contribui mai târziu la formarea dinților. Alte celule au ajuns într-un sept dintre arterele mari care pleacă de la inimă. Unele s-au adăpostit în centrul glandelor suprarenale, de unde vor produce mai târziu hormonul numit adrenalină. Altele s-au umplut de grăsime şi s-au înfăşurat în jurul extensiilor celulelor nervoase, formând o teacă izolatoare pentru fibrele nervilor. Unele celule s-au îndepărtat mult de locul lor de baştină şi au ajuns în piele, unde vor genera pigment. Multe şi-au făcut loc în capul aflat în plină dezvoltare, unde vor pune bazele craniului. Fără celulele din creasta neurală, nu am avea față.

Dacă deschizi orice manual de embriologie care se respectă, vei găsi o listă lungă cu toate țesuturile din organismul adult care provin din creasta neurală. Conturarea profilului tuturor celulelor din creasta neurală a presupus însă un efort considerabil – atât academic, cât şi tehnic.

În 1893, Julia Platt, o femeie care a studiat embriologia timp de nouă ani pentru doctorat, la Harvard şi la Freiburg, a publicat o lucrare în care formula ipoteza controversată potrivit căreia, la embrionul de salamandră, unele cartilaje din cap se formau din celule de pe creasta neurală. Pe atunci, afirmația era foarte îndrăzneață, fiindcă se credea că toate cartilajele şi oasele se formau din stratul mijlociu al embrionului, mezodermul. Toată lumea ştia că ectodermul (de unde provine creasta neurală) creează epiderma şi structurile neurale. A sugera orice altceva friza ridicolul. Ce tot spunea femeia asta din California? În literatura embriologică s-a iscat o furtună de critici distructive. Un cutare embriolog a sugerat chiar că domnişoara Platt şi-ar fi pregătit greşit specimenele. Avea să se dovedească, în cele din urmă, că Julia Platt avusese dreptate, dar prea târziu ca să-şi mai poată salva cariera ştiințifică, încheiată odată cu terminarea doctoratului, în 1898.

Parte din motivul pentru care contemporanii Juliei Platt se îndoiau de afirmațiile ei era faptul că cercetările sale se concentrau pe

diferențe de aspect foarte subtile între celulele din embrionul în dezvoltare, atât de subtile, încât unii se îndoiau de însăşi existența lor. Julia Platt a studiat la microscop secțiuni transversale subțiri din embrioni de salamandră şi era de părere că poate distinge celulele originare din ectoderm de cele care proveneau din mezoderm şi endoderm. Pare, într-adevăr, o sarcină grea, dar şi alți embriologi folosiseră aceeaşi metodă: celulele ectodermului (inclusiv cele din creasta neurală) erau mai mici decât cele din mezoderm şi conțineau granule de pigment maro. Însă studiile acestea se bazau pe analiza mai multor embrioni aflați la vârste diferite, pentru a putea reconstitui migrația celulelor din creasta neurală. Cum puteau fi *siguri* embriologii că observau acelaşi tip de celule de la un embrion la altul?

Urmărirea celulelor a devenit mai uşoară odată cu dezvoltarea unei tehnici numite *fate mapping*[1], o denumire cu aer profetic, care însă nu are nimic de-a face cu globurile de cristal. Embriologii injectează pigment în celulele vii ale unui embrion, apoi le urmăresc, ca să vadă unde ajung. În anii ’20, celulele migratoare erau colorate în albastru sau roşu. Spre sfârşitul anilor ’70, cercetătorii aveau la dispoziție o varietate de culori fluorescente, iar în anii ’80 creau embrioni modificați genetic, cu celule care se „vopseau“ singure în tot felul de culori fluorescente (o primă aplicare a tehnicilor care aveau să facă posibilă, mai târziu, metoda „Brainbow“). Acum puteau fi etichetate celulele din creasta neurală şi li se putea urmări migrația. Embriologii le-au văzut cum se detaşează şi călătoresc spre cap, gata să înceapă construcția temeliei părții frontale a craniului, care cuprinde oasele frontale, maxilarul şi mandibula. Acum nu mai trebuiau decât să se transforme în os.

CUM SE FORMEAZĂ UN CRANIU

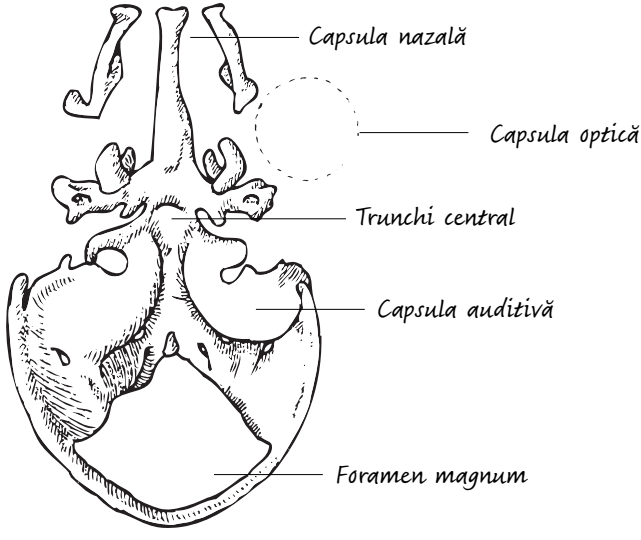
Pe vremea când nu erai decât un embrion cu trei straturi, celulele de la mijloc – stratul mezoderm – împreună cu celulele din creasta neurală care migraseră spre cap au format un tip de țesut embrionar special, numit mezenchim. Celulele mezenchimale nu s-au hotărât încă ce anume vor să fie când se fac mari. Sunt nehotărâte –

1. „Cartografierea destinului“ (en.) (n. tr.).

nediferențiate. Majoritatea se vor dedica unui destin precis foarte curând, intrând în alcătuirea oaselor, a cartilajului, a muşchilor sau a celulelor sangvine. Dar câteva celule stem nediferențiate se păstrează mult mai mult şi sunt prezente chiar şi în corpul adult, în măduvă şi în țesutul adipos, ca celule de rezervă. Întreg domeniul medicinei regenerative se bazează pe posibilitatea de a folosi „celulele stem mezenchimale“ pentru repararea leziunilor.

Pentru multele celule care vor forma materia osoasă, primul pas este să se transforme din mezenchim în cartilaj. În zona care va deveni baza craniului, mezenchimul formează insule de cartilaj, care urmează să se unească şi să devină os. Metoda aceasta de creare a osului, generând mai întâi un „model“ din cartilaj, este cea mai răspândită formă de osificare întâlnită la embrioni: coloana vertebrală, coastele, sternul şi toate oasele membrelor, cu excepția claviculelor, se osifică în acelaşi fel.

Cercetând craniul în dezvoltare, vedem încă o manifestare a ceea ce Darwin numea „legea asemănării embrionare“ (1859). La maturitate, craniul nostru se deosebeşte foarte mult de cel al majorității

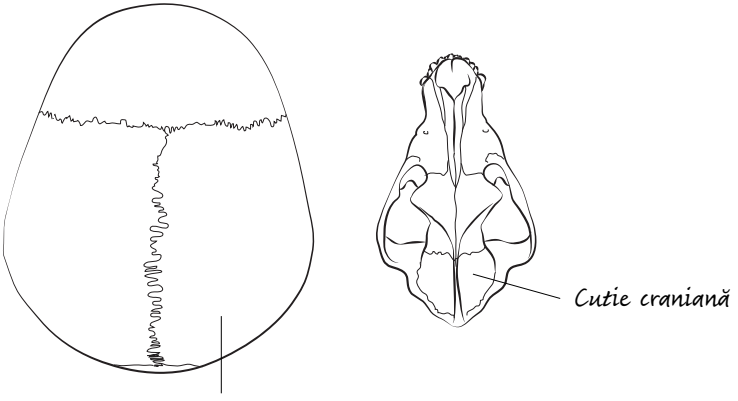


Condrocraniul (baza cartilaginoasă a craniului) la un embrion uman

mamiferelor. Dar, dacă comparăm modelul de cartilaj al bazei craniului uman embrionar cu craniul încă nedezvoltat al altor mamifere, asemănările sunt izbitoare. Baza craniului se compune din trei perechi de capsule, care conțin cavitatea nazală, ochiul şi urechea. La multe alte mamifere, compartimentele acestea rămân uşor de identificat şi în craniul adult: mai ales capsula nazală iese pronunțat în afară şi formează botul. Cutia craniană este mică şi stă frumos deasupra capsulelor auditive, care conțin mecanismele urechii. Dimpotrivă, cutia noastră craniană a ajuns atât de mare, încât, dacă priveşti craniul unui om adult de deasupra, nici nu vezi altceva. Ochii ne sunt adăpostiți sub partea lui frontală; protuberanța nasului e foarte scurtă şi nu seamănă deloc cu un bot, iar cavitatea nazală este ascunsă şi ea cu totul sub cutia craniană.

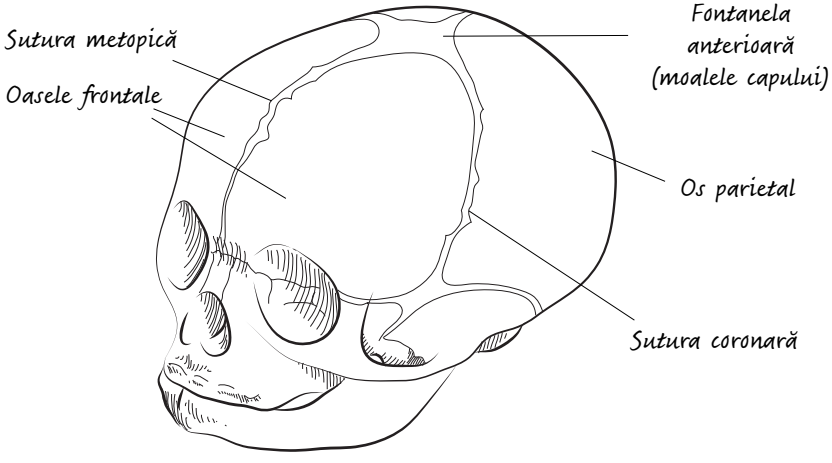
Cele mai multe oase din schelet se dezvoltă la fel ca baza craniului: mezenchimul se transformă mai întâi în modele miniaturale de cartilaj, care apoi devin os dur. Dar bolta craniului, adică partea superioară a cutiei craniene, unele părți din scheletul facial şi clavicula au în comun o trăsătură neobişnuită: se osifică direct din mezenchim.

În mezenchimul care acoperă creierul în curs de dezvoltare, celulele osoase se diferențiază şi încep să producă spicule de matrice osoasă, care conțin un amestec de proteine şi mineral osos. Treptat, spiculele se dezvoltă radiar din centrul de osificare, dar între marginile



Partea superioară a unui craniu de om şi a unui craniu de câine

oaselor rămân uşor separate la naştere, unite fiind de o membrană fibroasă. Cusătura îngustă care marchează locul unde se întâlnesc două oase se numeşte sutură. Deschizătura acoperită de membrană dintre două oase poartă numele de fontanelă. Acestea sunt „punctele moi“ de pe capul bebeluşului – unul mai mare în față, unde se întâlnesc osul frontal şi cel parietal, şi unul mai mic în spate, unde oasele parietale se întâlnesc cu occipitalul. Îmbinările acestea fibroase dintre oasele craniului le permit acestora să se suprapună puțin în timpul naşterii, uşurând întru câtva trecerea capului copilului (cu diametrul de 9 cm) prin orificiul pelvian (cu diametrul de 10 cm); de aceea unii nou-născuți au o formă foarte ciudată a capului. După o zi-două însă, oasele îşi recapătă, de obicei, poziția, iar capul bebeluşului devine mai rotund şi începe să arate normal. Suturile fibroase dintre oasele plate ale bolții rămân deschise în perioada în care capul continuă să crească, pentru a permite craniului să se mărească. De fapt, suturile sunt cruciale pentru dezvoltarea craniului – acolo *are loc* creşterea, fiindcă membranele din spațiul respectiv adaugă țesut osos nou pe marginile oaselor craniene.

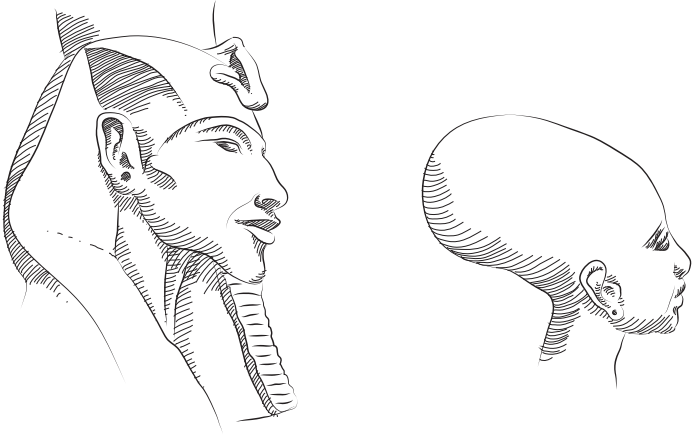


Suturile și fontanelele craniului de nou-născut

FORME DE CRANII

Craniile bebeluşilor sunt foarte maleabile. Se pot deforma, accidental sau intenționat, relativ uşor. Deformarea intenționată a craniilor tinere se practica în trecut în Egipt, Grecia, Peru şi Australia. Se pare că un craniu cu o formă ciudată era o marcă a statutului social, arăta că individul aparținea unui grup anume, sau indica statutul în cadrul unui grup – identificându-l pe posesor drept membru al unei elite sociale sau al clasei războinicilor. Capul faraonului egiptean Akhenaton pare să fi fost deformat patologic, dar sculpturile care o reprezintă pe regina lui, Nefertiti, sugerează că şi ea avea capul alungit, conic. Mumiile lui Tutankhamon şi a mamei lui vădesc şi ele o oarecare deformare conică. În imaginile vremii, toată familia regală are capete extrem de lungi şi se pare că nu era doar o licență artistică – suveranii chiar aveau capete deformate intenționat, conice.

Locuitorii preistorici ai Americii Centrale strângeau capetele copiilor mici între două scânduri – una la frunte, cealaltă la ceafă, pentru a aplatiza capul în față şi în spate şi a-l alungi. Şi alte civilizații istorice din Europa, Asia şi Africa au practicat obiceiuri similare, pentru a obține un craniu conic, atrăgător. Un studiu recent



Statuie a lui Akhenaton (stânga) și sculptură a capului uneia dintre fiicele lui Akhenaton și Nefertiti (dreapta)

apărut în jurnalul academic *Clinical Anatomy* le atrăgea atenția medicilor că e posibil ca deformările ciudate ale craniilor bebeluşilor să fie cauzate de rude, care folosesc diverse tehnici pentru a le modela. E remarcabil că nu mai departe de 1994 a apărut o carte cu titlul *Baby Beautiful: a Handbook of Baby Head Shaping* (*Frumusețe de bebeluş: manual de modelare a capului la sugari*).

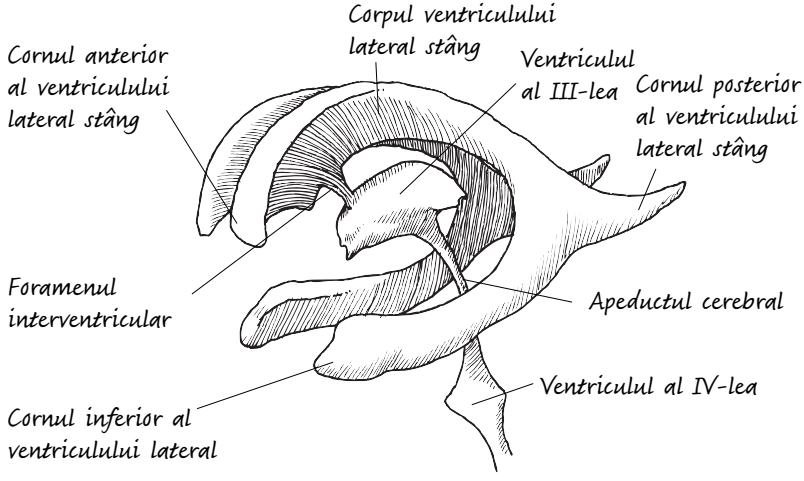
Deformarea accidentală a craniilor de copii era larg răspândită în rândul comunităților americane indigene, care îşi legau pruncii într-un suport purtat pe spate. Obiceiul ducea la un „defect de postură": aplatizarea osului occipital, aflat în partea posterioară a craniului. De la începutul anilor '90 a început să se observe un efect similar ca urmare a sfatului dat părinților, în SUA şi în Marea Britanie, de a-şi culca copiii pe spate. Campania a fost un mare succes, fiindcă a redus numărul de victime ale sindromului morții subite la sugari (SMSS), dar, deşi s-au înregistrat mai puțini copii cu fruntea aplatizată din cauza dormitului pe burtă, a crescut numărul bebeluşilor cu occipitalul aplatizat. Din fericire, aplatizarea occipitală pare a fi temporară.

Nici una dintre tipurile de deformare a craniului de mai sus, fie că este cauzată de o presiune intenționată sau accidentală, nu pare să afecteze dezvoltarea creierului. Apar însă probleme reale dacă unele dintre suturile craniene se închid prea devreme şi limitează creşterea craniului. Dacă se închide prea timpuriu sutura sagitală, craniul nu se mai poate lăți, aşa că se bombează în față şi în spate, devenind lung şi îngust. Închiderea prematură a suturii coronare împiedică creşterea între oasele frontale şi parietale, dând craniului un aspect teşit.

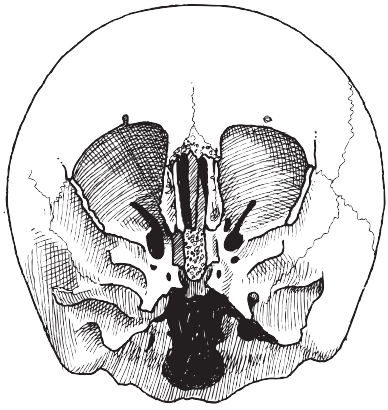
Osul pare un țesut foarte rigid (şi chiar este, la maturitate), dar presiunea intracraniană influențează forma oaselor bolții pe parcursul creşterii. Fenomenul se observă când suturile se închid prea devreme, dar şi când presiunea intracraniană este anormal de mare. În cazurile de hidrocefalie (cuvânt format de la cuvintele greceşti pentru „apă" şi „cap"), excesul de lichid cefalorahidian (LCR) din interiorul craniului poate exercita o presiune care face craniul să se umfle ca un balon. Această patologie îşi are originea în embrion, în timpul formării creierului din tubul neural gol la interior. Pe măsură ce se dezvoltă creierul, spațiul dinăuntru se diferențiază în mai multe cavități comunicante, numite ventricule, pline cu LCR. Unele din canalele care unesc ventriculele între ele sau cu măduva spinării sunt foarte

înguste, iar înfundarea lor duce la un exces de LCR. Afecțiunea se poate trata chirurgical: se introduce un tub în creier, pentru drenarea fluidului în exces către altă cavitate din organism, de obicei abdomenul, sau se face o mică deschizătură la baza craniului, pentru evacuarea LCR.

În 1999, Lloyd Pye, cercetător al fenomenelor paranormale, susținea că un creier straniu, găsit, se pare, într-o mină din Mexic în 1930, era probabil copilul conceput de o femeie umană cu un extraterestru. Într-un videoclip de pe YouTube, Pye spune despre „craniul Starchild“ („copilul stelelor“) că „nu are mai nimic în comun cu un craniu omenesc“. Pye citează un chirurg craniofacial din Canada care ar fi spus că în toată cariera lui nu mai văzuse un craniu atât de deformat, ceea ce nu înseamnă că avea origine extraterestră. Din craniu lipseşte maxilarul, sau falca superioară, fapt care-l face să arate şi mai ciudat pentru ochiul profan. Craniul are o formă neobişnuită, nimic de spus, dar seamănă foarte mult cu craniul unui copil bolnav de hidrocefalie. Istoria reală a craniului Starchild nu este o poveste fascinantă despre vizitatori extratereştri, este doar o poveste tristă. E vorba de craniul unui copil despre care nu se mai ştie nimic şi care a murit de timpuriu din cauza unei boli netratate.



Ventriculele dintr-un creier normal

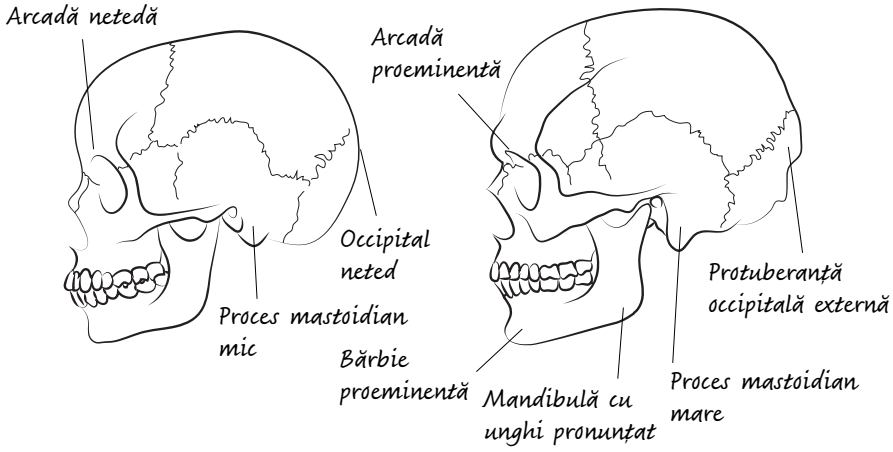


Craniul Starchild

Deşi e adevărat că legarea capului şi hidrocefalia pot deforma craniul în mod ciudat, forma unui craniu normal spune multe despre posesorul lui. Craniile prezintă variaţii de formă şi mărime la diversele populaţii de pe glob şi în funcţie de sex.

Craniul tipic al bărbatului european va avea o arcadă pronunţată deasupra ochilor. Din profil, se observă o adâncitură clară între această proeminenţă şi oasele nazale ieşite în afară. La ceafă, pe osul occipital, bărbaţii au de obicei o ieşitură osoasă proeminentă, mai pronunţată în centru, care poartă numele destul de pompos de protuberanţă occipitală externă. De obicei se simte uşor cu mâna, în zona de deasupra cefei. Poate fi chiar vizibilă, pe un cap chel sau ras.

Arcada de deasupra ochilor este încadrată de două curbe, care coboară spre protuberanţa mediană, formând un contur asemănător cu silueta unui pescăruş. Sub ureche iese în afară, cu vârful în jos, o piramidă osoasă, care poartă numele de proces mastoidian. Se simte uşor la pipăit, imediat sub lobul urechii, şi este mult mai mare la bărbaţi decât la femei. Procesele mastoidiene şi protuberanţa occipitală sunt zone unde muşchii se prind de os. Procesul mastoidian serveşte la ancorarea unei fâşii musculare lungi, care trece diagonal peste gât – muşchiul sternocleidomastoidian. Dacă întorci capul într-o parte, muşchiul iese în relief în partea opusă a gâtului – de fapt, con-

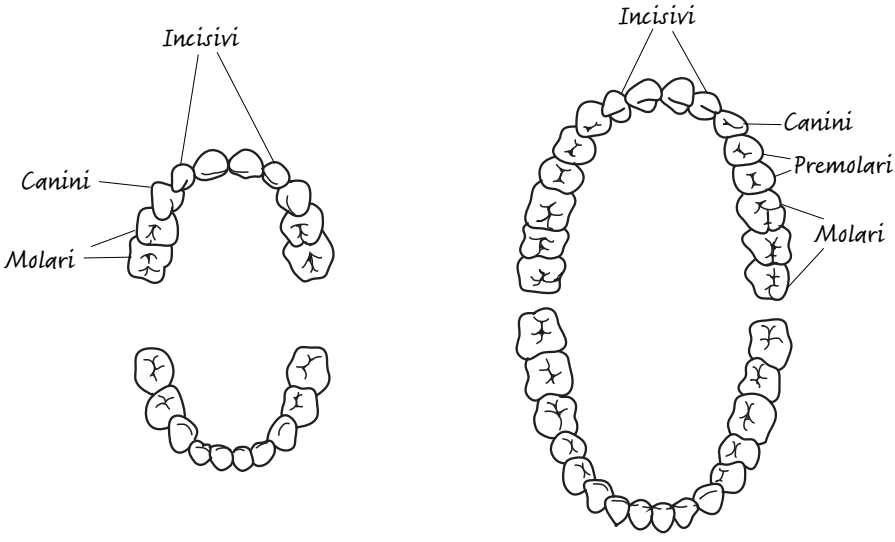


Diferențe între craniul uman feminin (stânga) și cel masculin (dreapta)

tracția lui îți întoarce capul. De protuberanța occipitală şi de muchiile în formă de aripi de pescăruşi, aflate de o parte şi de alta a ei, se prind muşchii cefei, inclusiv cel mare, în formă de zmeu, numit trapez.

Craniul feminin este, de obicei, mai puțin robust sau, altfel spus, mai grațios. Toate trăsăturile de mai sus sunt mai mici sau mai subtile. Proeminența arcadei e aproape observabilă; fruntea arcuită uşor, modelată de osul frontal, coboară şi se curbează către partea osoasă a nasului. Procesul mastoidian este mic şi compact, iar partea posterioară a occipitalului este, la multe femei, complet netedă şi rotundă şi nu formează nici măcar o cută acolo unde urcă şi se ataşează de ea muşchii gâtului.

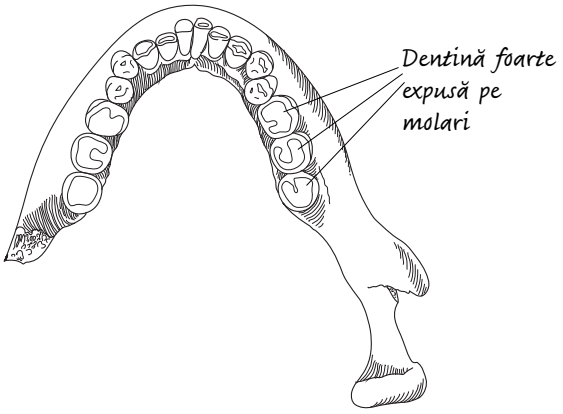
Când studiez schelete descoperite în urma săpăturilor arheologice şi încerc să determin sexul unui adult, un craniu bine conservat e o adevărată comoară. Chiar dacă pelvisul lipseşte sau este sfărâmat, craniul mă ajută să-mi dau seama dacă este vorba de un bărbat sau de o femeie. Dinții îmi dau şi ei indicii, pe baza cărora pot determina vârsta la care a murit persoana cu pricina. Dinții imaturi sunt uşor de „citit“: fiecare se formează şi erupe într-o perioadă determinată, într-o ordine destul de strictă. Înainte să împlinească trei ani, copilul are douăzeci de dinți de lapte; în fiecare cadran, sau jumătate de falcă, există doi incisivi, un canin şi doi molari. Trei ani mai târziu, dinții



Dinți temporari, sau de lapte (stânga), și dinți permanenți, sau adulți (dreapta)

de lapte vor începe să cadă, fiind înlocuiți de dinții permanenți: 32 la număr, împreună cu al treilea rând de măsele, sau măselele de minte (asta dacă posesorul lor nu face parte din cei 10-20% dintre oameni cărora nu le cresc măselele de minte). Incisivilor şi caninilor de lapte le iau locul incisivi şi canini mai mari, iar molarii de lapte sunt înlocuiți de premolari adulți, cu două muchii, după care cei trei molari adulți umplu spațiul nou creat de pe falca tot mai mare, în spatele dinților de lapte. Se poate spune, foarte aproximativ, că primul molar definitiv apare la şase ani, al doilea la doisprezece ani, iar al treilea la optsprezece ani.

Odată ce au erupt toți dinții, e mai greu să stabileşti vârsta craniului. Totuşi, se poate estima foarte vag dacă e vorba de un craniu de adult tânăr sau vârstnic în funcție de suturile dintre plăcile care formează craniul. Articulațiile acestea, care la naştere sunt larg deschise şi separate de membrane, se îngustează mult şi se unesc în timpul copilăriei, dar oasele rămân încă separate de o porțiune mică de țesut fibros. Odată cu înaintarea în vârstă, suturile se închid, iar oasele se lipesc. Din păcate, spre deosebire de erupția dinților, închi-



Mandibulă dintr-un mormânt medieval: se remarcă uzura puternică a dinților (care sugerează că subiectul a murit la 35-45 de ani).

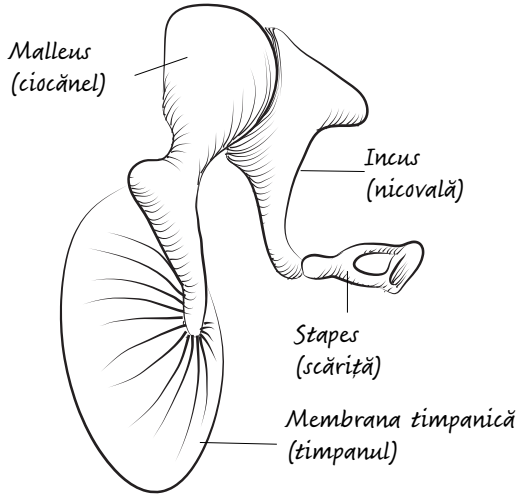
derea suturilor nu are un program fix, aşa că rămâne un indiciu aproximativ în privința vârstei. Dinții sunt însă mai de folos, mai ales în cazul rămăşițelor umane descoperite în săpături arheologice.

În ziua de azi, mâncăm alimente atât de rafinate, încât dinții noştri se uzează mult mai lent decât cei ai strămoşilor noştri preistorici, a căror pâine era plină de nisip mărunt de la pietrele de măcinat. Deşi smaltul dinților este cea mai dură substanță din organismul uman, făcută să suporte o frecare intensivă, până la urmă tot se va toci şi va expune miezul de dentină, aşa că gradul de uzură al dinților poate fi un indicator util al vârstei. Dentina se va expune mai întâi la vârful dinților, pe marginile incisivilor şi pe muchiile premolarilor şi molarilor. Odată cu trecerea anilor, dinții se macină tot mai mult, până când muchiile se nivelează. Un molar foarte uzat are suprafața de mestecat aplatizată, dentina expusă, iar din smalț mai păstrează doar un strat subțire, pe margine. Uneori dintele este atât de tocit, încât dispare tot smaltul, chiar până la rădăcini. Regimul meu alimentar de om modern îmi menajează dinții mult mai mult decât dacă aş fi trăit cu peste două-trei secole în urmă. Chiar şi aşa, când mă uit în oglindă în timp ce mă spăl pe dinți, observ că, deşi muchiile molarilor rezistă, pe vârfurile incisivilor se vede o dungă subțire de dentină expusă. Încet, dar sigur, şi dinții mei se uzează. N-ar strica să ți-i verifici şi tu pe-ai tăi.

AUZUL

Craniul şi dinții sunt incredibil de folositori pentru antropologul care face studii de teren şi încearcă să determine vârsta şi sexul cuiva doar pe baza indiciilor oferite de schelet. Când ne venea în laboratorul de osteologie un craniu foarte bine conservat, ştiam că am toate şansele să determin sexul şi vârsta posesorului, dar îmi era aproape imposibil să rezist tentației de a căuta cele mai mici oase din corpul uman. Sunt minuscule şi nu aveau să mă ajute în mod deosebit la analiză, dar asta nu le făcea mai puțin fascinante.

După o explorare foarte delicată a canalului auditiv cu o chiuretă dentară (instrument folosit de obicei la răzuirea tartrului de pe dinții pacienților vii) şi după câteva bătăi uşoare în craniu, cu mâna făcută căuş sub el, îmi cădea în palmă o grămăjoară de țărână uscată. Umblam printre grăuncioarele de pământ cu vârful degetului în căutarea celor trei osicule minuscule: *malleus* (ciocănelul), *incus* (nicovala) şi *stapes* (scărița). Ciocănelul măsoară cam 9 mm lungime, iar scărița minusculă nu este mai lungă de 3 mm. Deşi pare extraordinar, astfel de structuri se păstrează adesea, chiar integral. În timpul vieții, cele trei oase sunt unite între ele cu articulații şi ligamente minuscule.



Osiculele auditive: cele mai mici oase din corpul omenesc

Sistemul este proiectat pentru a transforma undele aeriene în unde lichide.

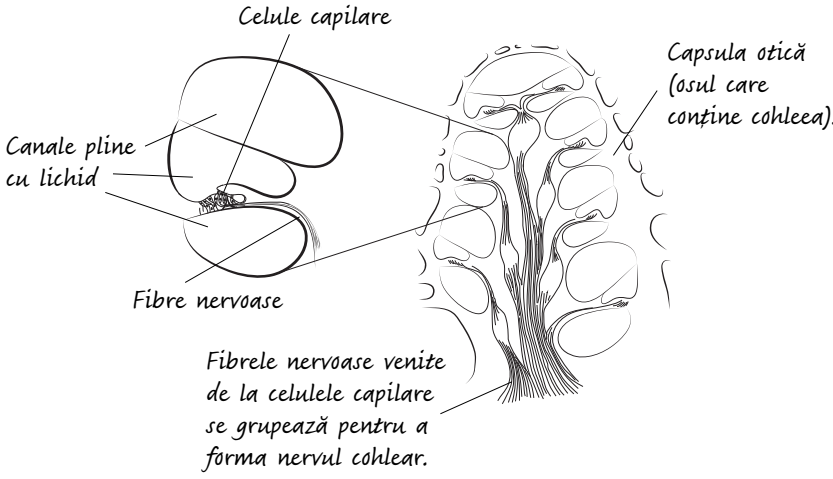
Timpanul, sau membrana timpanică, se află la capătul interior al meatului auditiv extern, pe care îl închide complet. Dacă privim cu un otoscop în canalul auditiv sănătos al unei persoane vii, vedem la capăt timpanul – o membrană lucioasă, uşor perlată, aproape translucidă. Se vede chiar şi ciocănelul, prins de partea opusă a membranei. Undele sonore care intră în ureche fac membrana delicată să tremure, apoi lanțul de oase transmite vibrațiile prin urechea mijlocie, până la cohlee.

Cohleea este o cavitate în formă de cochilie de melc, plină cu lichid, din interiorul osului temporal, de la baza craniului. Aproape de ea se află, în acelaşi os, mai multe tuburi cu lichid: trei canale semicirculare, în formă de C. Sunt dispuse la 90° unul de altul – poziționate perfect pentru a detecta accelerarea şi decelerarea în trei planuri. Atât în cohlee, cât şi în canalele semicirculare se află celule cu fire minuscule, numite celule capilare, care percep mişcarea lichidului din tuburi.

Vibrațiile din fluidul din cohlee declanşează pe loc un impuls electric în celulele capilare, impuls preluat de celulele nervoase. Fibrele acestora din urmă se unesc într-un mănunchi – nervul cohlear, care se uneşte cu nervul vestibular şi transmite informații despre poziție şi accelerație din celelalte părți ale labirintului, inclusiv din canalele semicirculare. Nervul vestibulocohlear iese din craniu pe interior şi ajunge la trunchiul cerebral. Informația se transmite de la un neuron la altul, prin trunchiul cerebral, în creierul în sine, ajungând în cele din urmă la cortexul auditiv din lobul temporal.

Dispozitivul acesta auditiv elementar este o trăsătură comună a tuturor mamiferelor. Dacă privim în cavitatea auditivă mijlocie a unui şoarece sau a unui elefant, vom vedea aceeaşi înlănțuire de trei osicule, care face legătura între timpan şi cohlee. Reptilele, dimpotrivă, nu au decât un osicul în ureche, iar povestea care ne spune cum au ajuns mamiferele (care au evoluat din reptile) să aibă trei osicule este o poveste extraordinară, asupra căreia vom reveni mai târziu.

Urechea este un sistem atât de fin, complex şi aparent delicat – de la subțirimea transparentă a timpanului la osiculele minuscule şi la celulele capilare microscopice din cohlee –, încât pare neverosimil


Celule capilare
Capsula otică (osul care conține cohleea).
Canale pline cu lichid
Fibre nervoase
Fibrele nervoase venite de la celulele capilare se grupează pentru a forma nervul cohlear.

Secțiune transversală prin cohlee, prin cele trei canale cu lichid care înconjoară în spirală axa centrală, numită columelă. Imaginea din stânga reprezintă o secțiune extinsă, cu celule capilare.

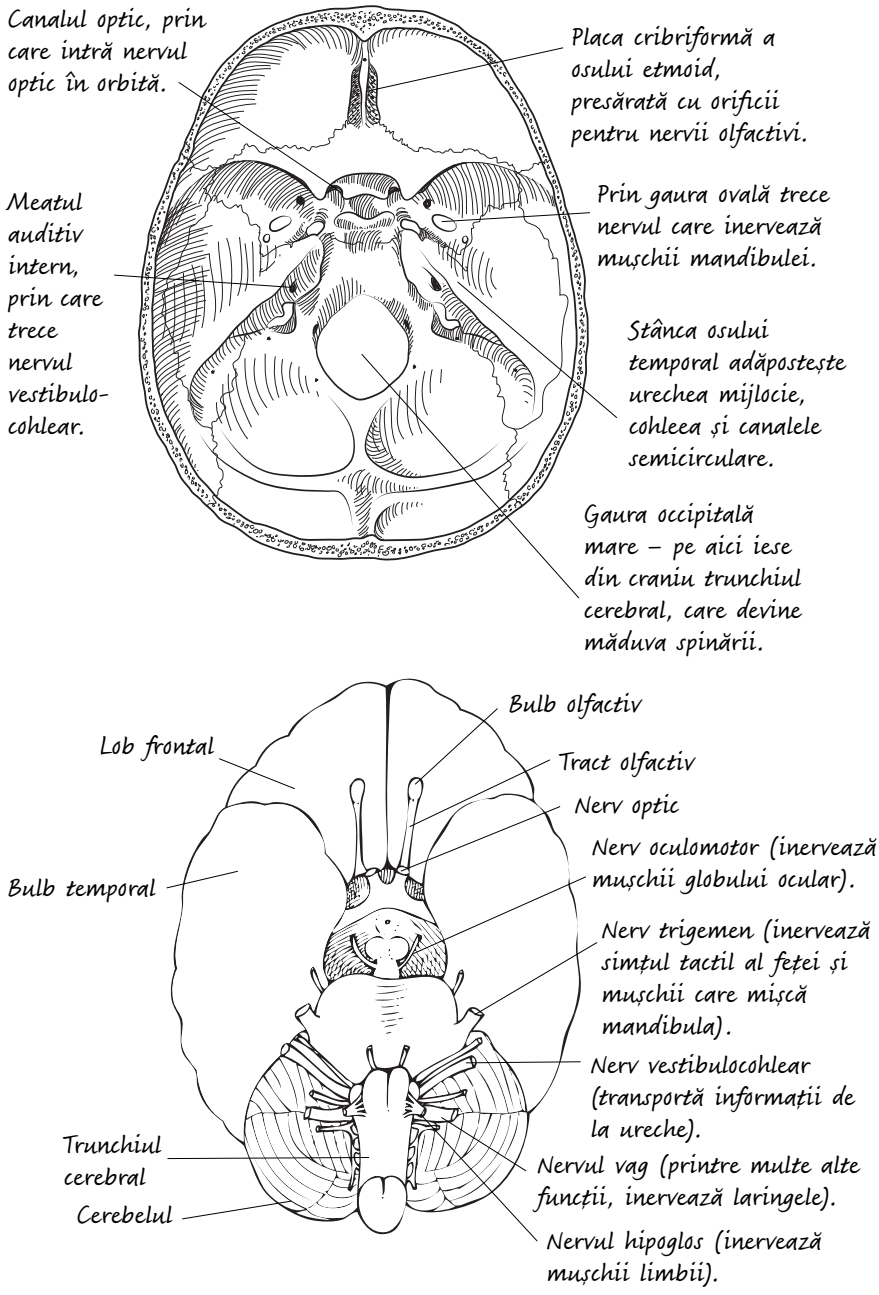
că problemele de auz nu sunt mai frecvente. Scăderea acuității auditive, totală sau parțială, poate fi genetică şi înnăscută, sau dobândită. Cu toții suferim o oarecare slăbire a auzului cu vârsta – nu mai auzim frecvențele înalte. Pe lângă această degradare firească, există multe alte cauze ale hipoacuziei dobândite, printre care diverse infecții, ca rujeola, oreionul şi meningita, unele medicamente, unii dizolvanți şi anumite pesticide. Aproximativ jumătate din cazurile de hipoacuzie dobândită sunt provocate de expunerea la sunete foarte puternice. Celulele capilare din cohlee sunt extrem de fragile, iar zgomotul puternic creează în lichid vibrații care le netezeşte, aşa cum un vânt puternic ar culca la pământ un lan de grâu copt.

MIROSUL

Multe dintre elementele anatomice pe care ne bazăm sunt neaşteptat de delicate şi de fragile când le descoperim în laborator sau în sala de disecții. Creierul însuşi pare foarte bine protejat, în carcasa lui de os, şi totuşi poate fi lezat fără a fi compromisă integritatea craniului.

Chiar şi în cazuri în care capul nu suferă nici un impact, accelerarea sau decelerarea rapidă pot leza creierul, fiindcă mişcarea bruscă îl face să se mişte şi să se lovească de partea interioară a craniului, suferind traumatisme. Majoritatea contuziilor cerebrale se vindecă de la sine, dar simptomele sunt neplăcute şi includ dureri de cap (lucru deloc surprinzător), ameţeli şi greaţă. Pe termen lung, unul dintre efectele traumelor cerebrale poate fi pierderea mirosului: anosmia. Dacă privim înăuntrul craniului, e limpede de ce nervii olfactivi, care transmit informaţii despre miros de la cavitatea nazală către creier, sunt deosebit de vulnerabili în caz de traumatism cerebral. În partea din faţă a craniului, lobii frontali stau pe un os proeminent care formează, în acelaşi timp, partea superioară a orbitei. Exact la mijloc, între orbite, se află un os îngust, presărat cu orificii minuscule. Este placa cribriformă a etmoidului. („Cribriform“ înseamnă „ca o sită“ în latină; „etmoid“ înseamnă „ca o sită“ în greacă. Aşadar, placa în formă de sită a osului în formă de sită. Pare tautologic, dar etmoidul are şi alte părţi care nu seamănă deloc cu o sită, deşi, evident, numele i se trage de la această placă perforată.) Partea inferioară a plăcii cribriforme formează „acoperişul“ lung şi îngust al cavităţii nazale. În zona aceasta, căptuşeala cavităţii nazale conţine celule nervoase specializate, cu proeminenţe minuscule ale căror membrane conţin proteine (receptori olfactivi). Proteinele acestea recunosc diversele molecule de miros; când o moleculă se ataşează de un receptor, acesta îşi schimbă forma şi declanşează un impuls electric. Apoi impulsul circulă prin fibrele nervoase, grupate sub formă de nervi olfactivi, şi străbate placa cribriformă. Imediat deasupra ei, intră într-o structură numită bulbul olfactiv, unde comunică prin sinapse cu un al doilea set de nervi, care formează tractul olfactiv, şi intră pe sub lobul frontal, apoi în masa creierului.

Dacă creierul se mişcă în interiorul craniului, nervii olfactivi minusculi care trec prin placa cribriformă sunt în pericol – pot fi retezaţi, ceea ce distruge legătura dintre receptorii olfactivi din nas şi bulbii olfactivi. Un studiu efectuat în Pennsylvania asupra pacienţilor cu traumatisme cerebrale a arătat că peste jumătate şi-au pierdut simţul mirosului, într-un grad mai mic sau mai mare, dar 40% dintre ei nu îşi dădeau seama în ce circumstanţe. Pare de necrezut, dar dintre toate simţurile noastre lipsa mirosului este, probabil, cel mai


Canalul optic, prin care intră nervul optic în orbită.
Placa cribriformă a osului etmoid, presărată cu orificii pentru nervii olfactivi.
Meatul auditiv intern, prin care trece nervul vestibulo-cohlear.
Prin gaura ovală trece nervul care inervează mușchii mandibulei.
Stânca osului temporal adăpostește urechea mijlocie, cohleea și canalele semicirculare.
Gaura occipitală mare – pe aici iese din craniu trunchiul cerebral, care devine măduva spinării.
Bulb olfactiv
Lob frontal
Tract olfactiv
Nerv optic
Nerv oculomotor (inervează mușchii globului ocular).
Bulb temporal
Nerv trigemen (inervează simțul tactil al feței și mușchii care mișcă mandibula).
Nerv vestibulocohlear (transportă informații de la ureche).
Trunchiul cerebral
Nervul vag (printre multe alte funcții, inervează laringele).
Cerebelul
Nervul hipoglos (inervează mușchii limbii).

Sus: craniu fără calotă, care lasă să se vadă interiorul bazei, cu orificiile, numite foramene, prin care trec nervii și vasele de sânge. Jos: suprafața inferioară a creierului, cu punctele de ieșire ale nervilor cranieni.

uşor de tolerat. Asta nu înseamnă că simțul mirosului e redundant la om, dar, față de alte animale, l-am neglijat de-a lungul istoriei noastre evolutive.

Mamiferele au peste 1 000 de gene pentru receptorii olfactivi (însumând o cifră considerabilă de 3% din genom), în timp ce *Petromyzon marinus*, rudă cu vechiul nostru prieten, chişcarul, nu are decât vreo 60 şi, prin urmare, nu detectează decât câteva mirosuri distincte. Dar, deşi chişcarul are puține gene olfactive în comparație cu orice mamifer care se respectă, acestea au o mărime şi o structură similare cu ale mamiferelor. Iată, deci, încă un exemplu de duplicare a genelor în decursul evoluției. De data aceasta, genele-duplicat capătă roluri uşor diferite de cele originale şi codifică receptori olfactivi puțin diferiți. Prin duplicare, familia genelor olfactive a suferit o expansiune masivă şi bruscă la majoritatea vertebratelor față de strămoşul pe care îl au în comun cu chişcarii, fenomen care îşi atinge apogeul la mamifere.

Mă joc de multe ori, cu mare plăcere, de-a v-ați ascunselea cu câinele meu, Bob, folosind o minge veche de tenis, dar el nu *caută* mingea, ci mai degrabă o amuşină. Cei circa 500 de milioane de ani de evoluție (atât de departe trebuie să mergem ca să găsim un strămoş comun cu chişcarul) au înzestrat cele mai multe mamifere cu nişte nasuri remarcabile. Nu e şi cazul nostru. Oamenii au mai puțin de 400 de gene olfactive active. Alte aproximativ 400 sunt încă prezente în genomul uman, dar au degenerat în asemenea măsură, încât au devenit inactive şi au suferit atâtea mutații, încât nu mai pot fi „citite“ şi traduse în proteine. Câinii (dar şi şoarecii) au de trei ori mai multe gene olfactive active decât oamenii – poate de aceea Bob se pricepe atât de bine să găsească după miros mingea lui de tenis preferată, oriunde aş ascunde-o. Eu îi simt mirosul dacă o țin la nas (şi nu e o aromă tocmai plăcută), dar n-aş avea nici cea mai slabă şansă s-o miros din partea opusă a camerei.

Dacă oamenii au atât de puține gene olfactive active şi atât de multe gene olfactive inactive în raport cu majoritatea mamiferelor, când a început acest simț foarte ascuțit să fie neglijat cu bună ştiință? De fapt, nu doar oamenii au un număr deplorabil de mic de gene olfactive. Un grup de geneticieni au comparat diverse mostre de genomuri, crezând că au identificat momentul în care s-a declanşat schimbarea. Se părea că primatele antropoide, inclusiv oamenii, dar

şi multe maimuțe din Lumea Veche, ca langurii, babuinii şi maimuțele colobus, aveau un număr de gene olfactive inactive mult mai mare decât maimuțele din Lumea Nouă şi lemurienii. Cele două grupuri de primate nici nu văd lumea la fel. Lemurienii şi lorişii, ca şi majoritatea maimuțelor din Lumea Nouă, au doar două tipuri de receptori cromatici; maimuțele din Lumea Veche şi antropoidele au trei tipuri de receptori, deci au vedere tricromatică. Cu alte cuvinte, primatele care şi-au dezvoltat vederea „în culori", cum i-am spune noi, şi-au neglijat simțul olfactiv.

Povestea sună bine, dar, din păcate, alte analize mai detaliate ale genomurilor în integralitatea lor o contrazic. Pierderea genelor olfactive este o tendință generalizată în rândul primatelor. Majoritatea par să aibă între 300 şi 400 de gene olfactive active. Iar noi, deşi tindem să ne considerăm foarte slab dotați în privința mirosului, suntem, de fapt, nişte aşi în domeniu, având mai multe astfel de gene active decât cimpanzeii, urangutanii, marmosetele, macacii şi maimuțele galago.

Deşi dovezile nu mai susțin ideea că mirosul a pierdut din teren odată cu evoluția vederii în culori, rămâne adevărat faptul că primatele, ca grup, au mai puține gene olfactive decât alte mamifere. Nu doar că baza genetică a mirosului s-a diminuat, dar majoritatea primatelor (în afara subordinului *Strepsirrhini*, din care fac parte şi lemurienii) au botul mult mai scurt şi bulbii olfactivi mult mai mici decât cele mai multe mamifere. Deşi mirosul şi auzul sunt, pentru multe mamifere, simțuri dominante, grupul primatelor pare să se fi specializat pe văz şi pipăit. Aşadar, mirosul şi văzul au intrat la un moment dat în conflict. Dar pentru a înțelege originea ochilor şi a vederii noastre trebuie să ne analizăm rudele mai îndepărtate şi să ne întoarcem mult înapoi în timp.

VĂZUL

Ochi ca ai noştri există de cel puțin 500 de milioane de ani – vertebratele au avut ochi încă de la început. Primele vertebrate, asemănătoare cu chişcarii de azi, nu aveau mandibulă, dar aveau ochi. De fapt, ochii chişcarului sunt foarte complecşi – asemănători cu ochii de vertebrată. Funcționează ca un aparat foto, au iris şi cristalin interior, iar globul ocular e pus în mişcare de şase muşchi – la fel ca la

noi. Ai putea să juri că ochii vertebratelor au apărut dintr-odată, complet formați. Ideea e destul de incomodă pentru teoria evoluției, care pleacă de la premisa că structurile se transformă treptat de-a lungul timpului; nu e de mirare, deci, că creaționiştii s-au agățat imediat de problema ochiului. Chiar şi Darwin recunoştea că ochii sunt greu de explicat, în *Originea speciilor*:

„Mărturisesc deschis că pare cu totul absurdă presupunerea că ochiul, cu toate inimitabilele lui dispozitive pentru acomodarea focarului la diferite distanțe, pentru primirea diferitelor intensități de lumină şi pentru corectarea aberațiilor sferice şi cromatice, s-ar fi putut forma prin selecție naturală.“[1]

Creaționiştilor le place tare mult să citeze această frază a lui Darwin – şi se opresc aici. Dar nu e altceva decât o figură retorică, menită să ne capteze atenția. În continuare, Darwin îşi imaginează cât de absurdă trebuie să fi părut ideea că Pământul se învârte în jurul Soarelui, şi nu invers, pe vremea când s-a lansat.

„Rațiunea îmi spune“, scrie el, „că, dacă se poate arăta existența a numeroase gradații de la un ochi simplu şi imperfect la un ochi complex şi perfect, fiecare stadiu fiind folositor posesorului său, […] atunci dificultatea de a crede că un ochi perfect şi complex ar putea fi format prin selecție naturală, deşi pare de neînvins pentru imaginația noastră, nu ar trebui considerată ca subminându-ne teoria.“[2]

Tare mi-ar plăcea să mă întorc în timp şi să-i povestesc lui Darwin despre numeroasele descoperiri ştiințifice care ne-au ajutat să înțelegem mai bine evoluția în secolul XX şi la începutul secolului XXI. I-aş spune despre fosilele incredibile care ne-au arătat cum le-au crescut membre amfibienilor, cum au căpătat dinozaurii pene şi cum a evoluat omul. I-aş spune despre ADN şi genom. Dar cel mai mult mi-ar plăcea să-i povestesc despre legăturile genetice recent descoperite dintre „un ochi simplu şi imperfect“ şi „un ochi complex şi perfect“.

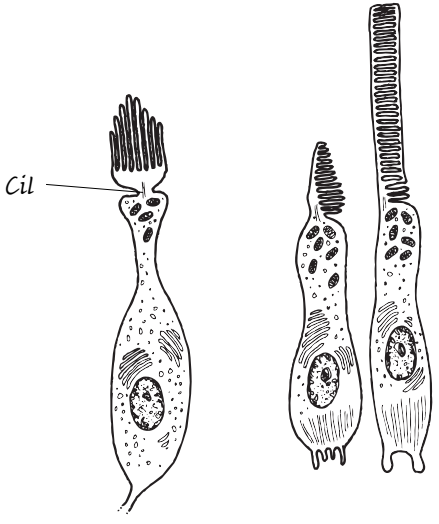
Prietenul nostru, amfioxul, „fosila vie“, are un element anatomic cunoscut de multă vreme sub numele de „ochi frontal“, dar oamenii de ştiință nu sunt siguri că servea efectiv la văz. „Ochiul frontal“

1. Charles Darwin, *Originea speciilor*, trad. de Ştefan Vlăduțescu, Editura Beladi, Craiova, 2007, p. 224 (n. tr.).

2. *Ibid.*, p. 225 (n. tr.).

conține celule care ar putea fi senzoriale, asemănătoare cu celulele pigmentate, închise la culoare (aşa cum şi retina noastră conține un strat de celule fotosensibile, sub care se află un strat de celule pigmentate). Dar chiar este structura aceasta sensibilă la lumină? Să fie „ochiul“ amfioxului o rămăşiță a unui organ care să fi fost precursorul ochilor noştri de vertebrate, mult mai complicați? Posibilele celule senzoriale din „ochiul frontal“ al amfioxului sunt foarte simple, spre deosebire de conurile şi bastonaşele complexe din ochii noştri. Anatomia comparată nu părea să ofere un răspuns, nici măcar la nivel celular.

Aici intră în scenă genetica. O echipă de geneticieni şi biologi cehi şi germani şi-au propus să rezolve enigma şi au examinat genele exprimate în „ochiul frontal“ al amfioxului. Au descoperit că genele responsabile de celulele pigmentate ale animalului seamănă cu genele din celulele pigmentate aflate în retina vertebratelor – au aceeaşi amprentă moleculară. Presupusele celule fotosensibile ale amfioxului exprimau şi ele gene asemănătoare cu cele ale celulelor fotosensibile din ochii vertebratelor. Un element important era acela că printre genele respective se numărau şi unele care codificau pro-



Celulă ciliată simplă din „ochiul frontal“ al amfioxului (stânga) și celulele fotosensibile de tip con (centru) și bastonaș (dreapta) din ochiul uman.

teine, despre care se ştie că au un rol în transformarea luminii captate într-un semnal electric în conuri şi bastonaşe. Cercetătorii au urmărit fibrele nervoase lungi care pornesc de la celulele senzoriale până în creierul amfioxului. Acolo au găsit, în sfârşit, dovada existenței unui ochi rudimentar la un animal primitiv înrudit cu vertebratele, dovadă care arăta că este posibil ca, la origini, ochii noştri complecşi să fi fost mult mai simpli.

Pentru un organism care înoată liber, aşa cum erau primele cordate, trebuie să fi fost un avantaj să aibă un organ fotosensibil în frunte; odată cu diversificarea vertebratelor, ochii eficienți şi circuitele din creier capabile să primească şi să interpreteze imagini trebuie să fi ajutat unele animale să evite prădătorii, iar pe altele să-şi găsească prada.

Rămâne, totuşi, un salt considerabil de la un organ atât de simplu ca „ochiul frontal“ la unul atât de complex ca ochiul vertebratelor – cu retină, cristalin, iris şi muşchi care îi dau mobilitate. Veriga de legătură ar putea veni de la alți peşti fără mandibulă din ziua de azi. În vreme ce chişcarii au ochi complecşi, asemenea celorlalte vertebrate, verii lor primari, mixinele cele vâscoase, au ochi chiar foarte primitivi. Ochii lor conici sunt acoperiți de o peliculă de piele translucidă, iar retina are fibre nervoase care comunică cu hipotalamusul. Dar nu au nici cristalin, nici iris, nici cornee, nici muşchi oculari, iar mixinele nu par să-şi folosească ochii pentru „văz“ – sunt, de fapt, oarbe; aşa-zişii lor ochi au, probabil, rolul de a regla ritmurile circadiene. Totuşi, ochii mixinelor ar putea fi o etapă, una din „gradațiile“ lui Darwin, între „ochiul“ elementar al amfioxului şi ochii noştri. Problema este că, pe baza dovezilor actuale, este foarte greu să determinăm dacă mixinele chiar seamănă cu primele vertebrate, sau dacă odinioară semănau mai mult cu chişcarii şi au degenerat în unele privințe. Aşadar, nu ne putem baza pe mixine ca intermediari posibili între ochii simpli şi cei complecşi.

Ne rămâne, deci, această lacună pe care am putea-o rezolva dacă am lua în considerare geneza ochiului, şi nu doar anatomia adultă. Ochii larvelor de chişcar seamănă foarte mult cu cei ai mixinelor. Când trece la forma adultă, ochiul chişcarului se măreşte şi devine mai complex: celulele retinei sunt mai complicate, se formează o lentilă, iar ochiul se ridică la suprafață şi devine mobil.

Ne putem face o idee despre posibila evoluție a ochilor noştri şi după cum se formează în embrion. Deşi dezvoltarea noastră embrionară nu trece prin toate etapele istoriei evolutive a omului, cum sugera Haeckel, putem observa ecouri ale trecutului nostru îndepărtat în forma timpurie a embrionului. Evoluția nu creează organisme noi din nimic, ci improvizează pornind de la ce are deja. La embrionul în dezvoltare, trăsăturile noi sunt, mai toate, „adăugate din mers".

Eşti din nou în uter, la 22 de zile după ce spermatozoidul norocos al tatălui a ajuns la ovul. Neurularea a creat baza sistemului nervos central şi, odată cu închiderea capătului frontal al tubului neural, din lateralele lui încep să iasă în afară două protuberanțe mici ca două coarne de melc. Câteva zile mai târziu, protuberanțele sunt atât de extinse, încât ajung la stratul de la suprafață al corpului tău minuscul: ectodermul. Dacă te-ai opri aici, organele respective ar semăna cu ochii de mixine sau de larvă de chişcar. Dar îți continui dezvoltarea. Acum apare o schimbare la suprafață: ectodermul se îngroaşă şi formează un disc mic, o placodă. Vezicula optică ce iese în afară din creierul anterior se prăbuşeşte înăuntru, formând o depresiune. În acelaşi timp, placoda de la suprafață se scufundă, lăsând în loc o adâncitură, apoi separându-se complet de exterior: o bulă de ectoderm prinsă sub suprafața corpului. Când vei împlini şapte săptămâni, spațiile din interiorul depresiunii şi al bulei vor fi început deja să dispară. Din depresiune se vor forma retina (cu un strat interior, în care se dezvoltă celulele fotosensibile de tip con şi bastonaş, şi cu un strat exterior pigmentat) şi irisul ochiului, iar bula se va transforma în cornee. Țesutul conjunctiv din jurul depresiunii optice formează un înveliş dublu pentru globul ocular care tocmai se dezvoltă, cu un strat interior plin de vase de sânge şi un strat exterior dur, care va forma albul ochiului şi muşchii care vor mişca globul ocular. Țesutul conjunctiv din interiorul depresiunii optice va deveni substanța moale şi transparentă din corpul vitros al ochiului. „Tulpina" ochiului, care face legătura dintre depresiunea optică inițială şi creierul anterior, devine nervul optic. Din pliurile ectodermului ți se formează pleoapele, care se vor uni peste ochiul în curs de dezvoltare şi se vor separa de-abia la aproximativ douăzeci de săptămâni după concepție, pe la jumătatea şederii tale în uter.

Dacă ne întoarcem mult în trecut, în perioada exploziei cambriene, ne putem închipui o serie similară de evenimente şi schimbări treptate, care s-au petrecut de-a lungul a zeci de milioane de ani de evoluție. Se poate ca strămoşii noştri dinaintea apariției vertebratelor să fi avut inițial o singură pată cu celule fotosensibile, care îmbrăca o parte din creier, asemănătoare cu „ochiul frontal“ al amfioxului. Când creierul s-a îmbrăcat în craniu, au apărut două astfel de pete şi fiecare s-a extins şi a devenit proeminentă. Pielea de peste protuberanțele fotosensibile ale creierului a devenit transparentă. Astfel de ochi – asemănători cu ai mixinelor – distingeau lumina de întuneric, dar nu erau capabili să formeze imagini. La descendenții creaturii acesteia cu ochi simpli, peticul de țesut transparent de la suprafață s-a scufundat şi a format o lentilă. Au apărut muşchii oculari, iar retina a devenit mai complexă. Ca urmare a duplicării genelor pentru proteine fotosensibile (opsine), au apărut patru sau cinci tipuri de celule de tip con, care reacționau fiecare la o altă lungime de undă a luminii. După aceea au apărut şi celulele de tip bastonaş, iar conexiunile din retină s-au diversificat şi ele – ca în ochii chişcarului din ziua de azi. Mult mai târziu, când unii descendenți ai peştilor cu mandibulă s-au târât pe uscat, s-au dezvoltat şi pleoapele, ca să protejeze ochii, iar corneea şi-a schimbat forma, pentru a se adapta la modul în care lumina se refractă în trecerea de la aer la retină.

Dacă ne uităm la chişcarii din prezent, este evident că ochii vertebratelor timpurii, pe lângă faptul că erau complecşi şi capabili să formeze imagini, vedeau lumea în culori. O specie de chişcar din emisfera sudică, *Geotria australis*, are cinci fotoreceptori diferiți, în formă de con, fiecare cu tipul lui de opsină. Majoritatea peştilor (dintre cei cu mandibulă) au cel puțin patru tipuri de conuri, inclusiv unul sensibil la lumina ultravioletă. La fel şi cele mai multe reptile şi păsări. Dar majoritatea mamiferelor nu au decât două tipuri de conuri, iar retina lor conține un număr relativ mic de astfel de celule. Dintre toate mamiferele, doar un grup exclusiv de primate şi-a dezvoltat din nou vederea în culori, având trei tipuri de conuri în loc de două.

Aşadar, de la vertebratele primitive până la noi, povestea e plină de întorsături: ochii complecşi există de multă vreme, iar vederea în culori are o istorie lungă, intermitentă. Mamiferele din care am evoluat au pierdut vederea în culori de care se bucurau strămoşii noştri

peşti, renunțând la două din cele patru opsine fotosensibile. Ca să-l parafrazăm pe Oscar Wilde, pierderea unei opsine poate fi considerată un ghinion, dar să pierzi două deja e semn de neglijență.[1] E însă inutil pentru un animal activ mai ales pe întuneric să întrețină patru receptori cromatici diferiți; altfel spus, probabil că nu va avea de suferit dacă pierde câțiva. Este foarte probabil ca primii noştri strămoşi îmblăniți să fi fost aproape exclusiv nocturni.

Dar de ce şi-a recăpătat vederea în culori doar un grup select de primate, dintre toate mamiferele? Majoritatea mamiferelor au două tipuri de conuri, unul sensibil la undele lungi, celălalt sensibil la undele scurte de lumină. În termenii în care percepem noi culorile, putem spune că cele mai multe mamifere nu deosebesc roşul de verde. Dintre primate, lemurienii, lorişii şi majoritatea maimuțelor din Lumea Nouă manifestă şi ele acelaşi tip de daltonism. Însă acum circa 30 de milioane de ani, la o maimuță care avea să devină strămoaşa maimuțelor din Lumea Veche din ziua de azi s-a duplicat gena pentru opsina sensibilă la undele lungi. Una din genele rezultate a suferit o mică modificare şi astfel a apărut posibilitatea unui con nou, sensibil la undele de lungime medie; noul con trebuie să se fi dovedit avantajos, din moment ce selecția naturală l-a propagat.

Odată cu maimuțele din Lumea Veche s-au diversificat şi copacii din pădurile tropicale în care trăiau. Multe maimuțe se hrănesc aproape exclusiv cu frunze, deci se poate ca vederea în culori să le fi ajutat să identifice frunzele mai tinere şi mai fragede. Faptul se poate să le fi asigurat un avantaj suficient de mare în lupta pentru supraviețuire, încât gena care codifica noul con să se răspândească în rândul populației de maimuțe. Ideea că vederea în culori a evoluat pentru ca animalele să-şi găsească mai uşor hrana nu este nouă; a fost avansată de biologul Grant Allen din secolul al XIX-lea, într-o carte cu titlul *The Colour Sense* (*Simțul culorii*), apărută în 1879. Maimuțele şi primatele antropoide au profitat de capacitatea de a vedea în culori şi şi-au creat metode de semnalizare prin culoare. Când ovulează, femelele de babuin şi de cimpanzeu anunță că sunt fertile

1. În piesa *The Importance of Being Earnest* (*Ce înseamnă să fii onest*), Lady Augusta Bracknell spune: „Să pierzi un părinte, domnule Worthing, poate fi considerat un ghinion; să pierzi doi sună deja a neglijență“ (n. tr.).

prin posteriorul de un roşu intens, semnal care ar trece neobservat printre mamiferele cu o percepție a culorilor mai redusă.

Daltonismul este extrem de rar la maimuțe – de exemplu, la masculii de macac crabivor apare la doar un exemplar din 250 –, dar la bărbații caucazieni este mult mai răspândit: afectează cam unul din doisprezece. Daltonismul pare să fie cauzat de faptul că oamenii au atât de multe copii din gena opsinelor pentru unde de lungime medie, încât uneori acestea se încurcă cu gena opsinelor pentru unde lungi şi creează o opsină-hibrid, care nu mai face distincția dintre roşu şi verde. Întrucât capacitatea de a diferenția cele două culori le era folositoare primatelor, fiindcă găseau mai uşor fructe coapte şi frunze fragede, putem presupune că pierderea acestei capacități ar fi constituit un dezavantaj şi, prin urmare, ar fi fost eliminat prin selecție naturală. Daltonismul poate fi mult mai dezavantajos pentru maimuțe, care nu împart hrana între ele ca oamenii. E posibil ca oamenii daltonişti să nu sufere un dezavantaj atât de mare, pur şi simplu fiindcă nu se bazează numai pe hrana pe care o găsesc singuri. Aşadar, putem presupune că daltonismul este mai frecvent la oameni, fiindcă defectul acesta nu a fost eliminat prin selecție naturală la fel de stăruitor ca la maimuțele mai egoiste.

În această analiză a evoluției vederii în culori la primate am operat cu mecanica vederii la nivel celular şi molecular. Dar la primate văzul are trăsături importante care se pot observa la nivel macroscopic, trăsături pe care le putem vedea cu propriii ochi, fără să ne bazăm pe microscoape sau pe analiza chimică a proteinelor.

Dacă privim frontal orice craniu de primată, vom putea vedea până în adâncul orbitelor. Pare ceva obişnuit, dar n-am putea face acelaşi lucru cu orice creier de mamifer. Dacă ne-am uita din față la un craniu de şoarece, iepure, cal, vacă sau căprioară, n-am vedea decât osul din jurul orbitelor, care se continuă puțin în lateral. Pentru multe mamifere, este o poziție utilă a ochilor: dacă sunt dispuşi de o parte şi de alta a capului, asigură un câmp vizual de aproape 360º. Este o trăsătură foarte folositoare pentru un ierbivor care trebuie să se păzească de prădători. La carnivore, cum ar fi felinele (mari sau mici), ochii sunt poziționați astfel încât privesc mai degrabă înainte decât în lateral. Cele două câmpuri vizuale se suprapun parțial. Pare redundant, dar de fapt este ingenios: comparând două imagini puțin

diferite ale aceluiaşi obiect, văzut simultan cu ambii ochi, creierul calculează distanța până la el. Şi noi efectuăm triangulația aceasta fără să ne gândim măcar la ea (cel puțin nu conştient), dar dacă închidem un ochi nu putem decât să ghicim distanțele. Majoritatea primatelor au ochii orientați în față, iar câmpurile vizuale se suprapun în proporție mare. Unii cercetători au sugerat că vederea stereoscopică a evoluat la strămoşii noştri din rândul primatelor, fiindcă le permitea să estimeze mai bine distanțele – ceea ce te ajută dacă eşti un animal care sare de pe o creangă pe alta prin pădure, la mare înălțime. Adevărul este însă că ochii primatelor sunt cam prea aproape unul de celălalt ca vederea tridimensională precisă să fie *la raison d'être* a vederii stereoscopice. Ochii apropiați te ajută să apreciezi distanța când eşti foarte aproape de un obiect, lucru util pentru un animal care mănâncă insecte. Se pare că asta şi făceau primele primate; probabil se hrăneau cu fructe şi nectar, dar felul principal erau insectele. Regimul bazat cu precădere pe frunze şi, mai apoi, pe fructe a apărut odată cu evoluția maimuțelor şi, mai târziu, a primatelor antropoide.

Mulțumită vederii stereoscopice, vedem lumea în trei dimensiuni. Deşi uneori ne-am dori să avem ochi la ceafă, sau cel puțin în lateral, e bine să nu uităm că evoluția ne-a înzestrat în mod generos cu ochi foarte mobili şi cu un gât flexibil, care ne permite să privim peste umăr.

Ochii mobili ai oamenilor au unele trăsături aparte față de ochii altor primate şi chiar față de ai altor animale în general. Îți poți da foarte uşor seama încotro priveşte un om, datorită suprafeței mari de scleră (albul ochiului) vizibilă şi datorită contrastului dintre ea şi iris. La majoritatea mamiferelor, sclera nu este albă, ci închisă la culoare, aşa că nu se vede prea clar unde se termină şi, deci, încotro priveşte animalul. Se poate ca albul sclerei umane să nu fie doar o ciudățenie întâmplătoare; e posibil ca acest contrast dintre ea şi iris să fi apărut tocmai ca să ne ajute să vedem în ce direcție privesc ceilalți – o formă de comunicare nonverbală. Suntem o specie foarte socială, cooperăm în tot felul de sarcini. Capacitatea de a observa rapid şi uşor încotro se uită altcineva este utilă şi se poate să fi fost motivul pentru care ochii noştri au evoluat în mod atât de neobişnuit în comparație cu alte animale. Sclera albă nu este însă o trăsătură exclusiv umană. Apare şi la unii cimpanzei şi la gorilele care au arătat

că sunt interesate de direcția în care privesc alte gorile. Noi însă, având în vedere forma ochilor şi albul aproape omniprezent al sclerei, observăm întotdeauna cu uşurință încotro privesc semenii noştri.

Întrucât suntem animale foarte vizuale, sociale şi comunicative, suntem foarte atenți la ochii celorlalți. Cicero spunea „*Ut imago est animi voltus sic indices oculi*“, adică „chipul este imaginea minții, iar ochii îi sunt interpreți“. Cicero era renumit pentru elocvența lui şi pentru priceperea cu care jongla cu cuvintele, aşa că am senzația că în traducerea aceasta se pierde ceva. Ideea lui se exprimă mai poetic prin zicala „Ochii sunt fereastra către suflet“. Uitându-ne la ochii celorlalți, înțelegem cât de cât la ce se gândesc. Nu ne mulțumim să le urmărim direcția privirii şi să deducem la ce se uită.

Interpretând privirea cuiva, putem spune dacă acela este agresiv, dominant sau supus, cât de inteligent, de competent şi de înțelegător este; putem chiar să ne dăm seama dacă e atras fizic de noi. Suntem atenți la privire încă din naştere: nou-născuții sunt sensibili la schimbarea direcției în care privesc adulții; la şase luni pot urmări privirea altcuiva, dacă o indică atât poziția ochilor, cât şi a capului. La 18 luni ne urmăresc ochii fără să mai aibă nevoie de indiciul suplimentar oferit de poziția capului. Cimpanzeii adulți însă urmăresc privirea omului aşa cum o arată poziția capului, nu se pot lua doar după ochi. Între doi şi trei ani, copiii încep să „citească gândurile“ după cum e orientată privirea celorlalți – încearcă să-şi dea seama ce gândesc cei din jur. Pentru membrii unei specii sociale în care indivizii cooperează des, această aptitudine e folositoare, mai ales atunci când cineva încearcă să te tragă pe sfoară. De exemplu, dacă cineva pretinde că nu ştie unde se află un obiect ascuns, e posibil să tragă cu ochiul, neintenționat, spre locul unde l-a pus. Adulții se pricep foarte bine să sesizeze astfel de indicii, dar pot oare şi copiii să observe la fel de bine păcălelile? Studiile arată (iar părinții ştiu!) că, încă de la trei ani, copiii înțeleg când sunt păcăliți şi pot păcăli la rândul lor. Dar folosesc ei oare direcția privirii drept indiciu, ca adulții?

Psihologii au testat capacitatea celor mici de a înțelege ce se află în spatele disimulărilor cu ajutorul unui experiment simplu. Un grup de copii de vârste diverse au urmărit un clip în care un adult ascundea o jucărie mică sub un pahar întors cu fundul în sus, aflat lângă alte două, iar imaginea se întrerupe în momentul crucial când jucăria

dispare. Într-unul dintre scenarii, copiilor li se spune dinainte că adultul vrea să-i păcălească – „nu vrea să găsiți jucăria“. Când persoana respectivă revenea pe ecran cu cele trei pahare, dar fără jucărie, le spunea copiilor că nu ştie unde se află jucăria, dar se uita scurt la unul dintre pahare. Copiii trebuiau să ghicească unde era ascunsă jucăria. Într-un al doilea scenariu, adultul minte, spunând că jucăria s-ar afla sub un anume pahar, dar trage cu ochiul la cel sub care a pus-o de fapt. Într-o altă versiune a experimentului, care porneşte de la adevăr, copiilor li se spune că adultul nu va încerca să-i păcălească. De data aceasta, când reapare cu cele trei pahare, spune că ştie unde se află jucăria şi se uită la paharul respectiv. Copiii de trei ani identifică foarte uşor paharul corect în scenariul bazat pe adevăr, folosind drept indiciu doar direcția privirii, dar nu reuşesc aproape deloc să aleagă paharul cu jucăria dacă adultul încearcă să-i păcălească, deşi au fost avertizați că aşa se va întâmpla. Copiii cu vârste de patru-cinci ani rezolvă însă mult mai uşor situațiile false şi aleg paharul la care s-a uitat adultul, chiar dacă acesta s-a prefăcut că nu ştie unde se află jucăria sau a mințit că s-ar afla sub un alt pahar.

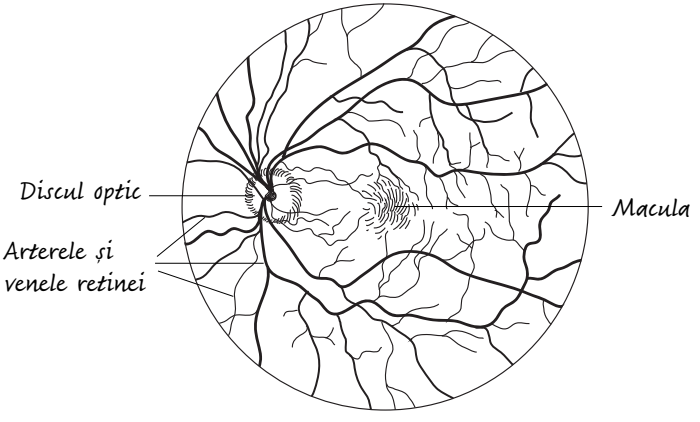
Pentru adulți, astfel de sarcini par foarte uşoare – poate fiindcă suntem mai blazați şi mai puțin încrezători? –, dar să ne gândim ce presupune analiza situației false. Pentru a alege paharul corect, trebuie să ne dăm seama că celălalt are de gând să ne păcălească. Apoi trebuie să ne dăm seama că anumite informații (cuvintele rostite) au scopul de a ne induce în eroare, în timp ce altele (privirea) pot dezvălui adevărul. Copiii de patru şi cinci ani par să fi învățat că „acțiunile cântăresc mai greu decât cuvintele“. Celor de trei ani, chiar dacă li s-a spus că urmează ca cineva să-i păcălească, pare să le fie foarte greu să creadă că *spusele* cuiva pot fi înşelătoare. Copiii de patru ani sunt sensibili deja la indiciile divulgate de ochii semenilor lor. Deşi, în anii următori, îşi vor îmbunătăți capacitatea de a înşela şi de a-şi da seama că sunt înşelați, copiii ştiu încă de la vârsta grădiniței să interpreteze privirea ca indiciu nonverbal important.

Pe lângă faptul că ne ajută să deducem stările mentale ale celorlalți, ochii sunt ferestrele creierului şi într-un alt sens, mai literal. În forma în care au evoluat la cordatele care ne sunt strămoşi îndepărtați şi în care se dezvoltă la embrionul uman, ca protuberanțe ale creierului anterior, rămân conectați la creier prin „tulpină“ – nervul

optic. Dacă privim în ochiul cuiva cu oftalmoscopul şi ne concentrăm pe retina din partea posterioară a ochiului, vedem de unde pleacă nervul optic. Fibrele lui (sunt cam un milion), care colectează informația de la celulele fotoreceptoare din toată retina, converg într-un punct, în care ies din retină şi ajung în spatele ei, formând nervul optic. Locul unde se întâlnesc se numeşte discul optic şi se distinge uşor cu oftalmoscopul. De obicei are un diametru mai mic de 4 mm şi este de un portocaliu intens, în comparație cu roşul-portocaliu mai închis al restului retinei.

Acolo unde ies fibrele nervoase din retină, pe discul optic, nu este loc pentru celulele receptoare. E unul dintre defectele organismului nostru, care arată că am fost „proiectați“ printr-un proces lipsit de prevedere şi de scop. Nu există proiectant: structura şi funcțiile corpului nostru sunt rezultate ale evoluției. Dacă am proiecta un ochi pornind de la zero, probabil am pune celulele receptoare chiar la suprafața retinei, apoi le-am conecta în aşa fel încât fibrele nervoase să se prindă de partea lor posterioară. Astfel, n-ar mai fi nevoie să avem un disc optic pe retină şi n-ar mai exista porțiunea aceasta lipsită de receptori, numită „pată oarbă“.

Se poate să nici nu ştii că ai o pată oarbă în fiecare ochi – ceea ce e perfect normal, deoarece creierul tău se pricepe foarte bine să acopere această deficiență, extrapolând pe baza a ceea ce vede în jurul ei. Dar o poți depista cu un test simplu, pe care-l poți face chiar acum.



Retina văzută prin oftalmoscop

Acoperă-ți ochiul stâng cu mâna stângă – nu trișa! Cu ochiul drept privește drept înainte. Acum întinde mâna dreaptă cât poți, apoi ridică degetul arătător. Dacă ai adoptat poziția corectă, îți vei vedea clar unghia arătătorului. Acum mișcă degetul, ținând brațul drept. Mișcă-l pe orizontală şi puțin pe verticală. În tot acest timp, trebuie să privești tot înainte şi să te împotrivești tendinței de a urmări mișcarea mâinii drepte cu ochiul drept. Merită să ai răbdare, fiindcă în cele din urmă se va întâmpla ceva foarte straniu: *îți va dispărea* vârful degetului arătător. Acest lucru se va întâmpla, probabil, când ții brațul întins la orizontală şi-l orientezi din nou foarte uşor în afară. Când îți descoperi pentru prima oară pata oarbă, experiența e foarte ciudată; îți dai seama dintr-odată că vederea nu e doar un proces pasiv. Creierul munceşte incredibil de mult să proceseze şi să dea sens mulțimii de informații venite de la ochi, iar acolo unde datele lipsesc, le suplineşte prin deducții. Peticul de imagine de fundal pe care-l vezi acolo unde ar trebui să-ți fie vârful degetului *nu este* de fapt acolo. Creierul tău pur şi simplu l-a inventat: e o halucinație vizuală în miniatură. Este un fenomen fascinant; acum ştii că ai o pată oarbă. Dacă însă ochiul ar fi fost construit mai temeinic încă de la început, creierul n-ar mai fi trebuit să umple lacunele.

Deşi discul optic este un argument împotriva adepților „proiectării inteligente“, doctorii i-au găsit totuşi o utilitate. Analizându-l, obținem indicii utile despre ce se întâmplă în interiorul craniului.

Straturile exterioare ale globului ocular sunt neîntrerupte, iar nervul optic e învelit într-o teacă, ce se continuă la rândul ei cu membranele sau meningele care îmbracă tot creierul. Spațiul dintre cele două straturi interioare ale meningelor conține lichid cefalorahidian (LCR). Dacă presiunea intracraniană este neobişnuit de mare, LCR va fi împins în afară, în teaca nervului optic, şi va apăsa atât pe nerv, cât şi pe vena centrală a retinei, care trece prin ea. Presiunea se poate transmite până în ochi, cauzând umflarea fibrelor nervoase din discul optic. Inflamarea discului optic, numită şi edem papilar, este un semnal de alarmă care anunță creşterea presiunii intracraniene, cauzată de o inflamație sau de o tumoare cerebrală, sau de un blocaj în fluxul LCR. Edemul papilar ne aminteşte de legătura strânsă dintre ochi şi creier, ce-şi are originea în dezvoltarea ochiului la embrion şi care ne duce înapoi în timp, atunci când au apărut ochii, la strămoşii noştri foarte îndepărtați.

VORBIREA ŞI BRANHIILE

ORIGINILE ACVATICE ALE LARINGELUI

„Oamenii trebuie să vorbească despre ceva ca să-şi menţină în formă coardele vocale, în eventualitatea că vor avea vreodată de spus ceva important.“[1]

KURT VONNEGUT

1. Kurt Vonnegut, *Leagănul pisicii*, trad. de Raluca Popescu, Polirom, Iaşi, 2004, p. 202 (n. tr.).

UN OS ÎN FORMĂ DE U ŞI UN CARTILAJ ÎN FORMĂ DE FLUTURE

În anii ’20, un grup de geologi britanici în căutare de surse de piatră de calitate pentru un port nou la Haifa, în ceea ce era pe-atunci Palestina sub mandat britanic (în Israelul de azi), au făcut o descoperire interesantă pe pantele vestice ale muntelui Carmel: o serie de unelte de piatră preistorice. Arheologii au ciulit urechile. Între 1929 şi 1934, o echipă condusă de arheologul Dorothy Garrod a scos la lumină un şir de peşteri în muntele Carmel şi a făcut nişte descoperiri uluitoare. Într-una din peşteri, numită Skhul, arheologii au găsit mii de unelte de piatră şi zece morminte omeneşti. Era clar încă de atunci că situl era foarte, foarte vechi – data tocmai din paleolitic. Dar conform tehnicilor moderne de datare aveau o vechime chiar mai mare decât ar fi crezut Dorothy Garrod – între 100 000 şi 130 000 de ani. Scheletele găsite acolo conţin dovezi importante: despre anatomia primilor oameni moderni (*Homo sapiens*) şi despre cum s-a răspândit omul modern pornind din Africa – dar asta e altă poveste. Şi alte peşteri de pe muntele Carmel cercetate de echipa lui Garrod, printre care şi peştera Kebara, păstrau urme ale prezenţei umane, anume unelte de piatră.

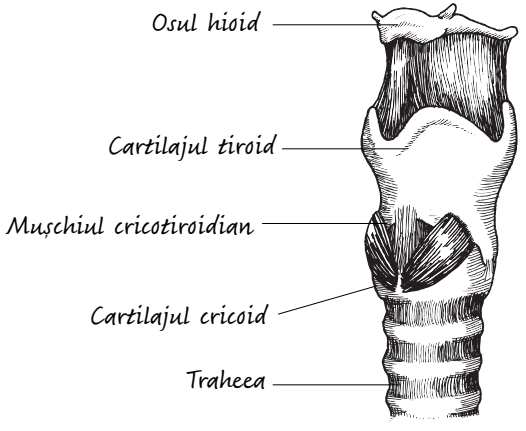
În 1982, arheologii s-au întors la Kebara să termine ce începuse Garrod. Echipa era condusă de Ofer Bar-Yosef de la Harvard University, căruia i se alăturaseră colegi din Franţa şi Israel. După câţiva ani de excavări, Kebara şi-a dezvăluit secretele: şi mai multe unelte de piatră; oase de animale provenind de la tot felul de specii, printre care gazela, antilopa, mai multe feluri de căprioare, calul sălbatic, rinocerul, hiena şi vulpea, precum şi rămăşiţe de vetre preistorice. Apoi, în 1983, arheologii au descoperit un mormânt omenesc, aparţinând nu unui om *modern*, ci unui neanderthalian, îngropat în peşteră

cu vreo 60 000 de ani în urmă. Deşi îi lipsesc craniul şi mare parte din oasele picioarelor, este cel mai complet schelet neanderthalian găsit până în prezent. Chiar sub curbura mandibulei, arheologii au găsit un os mic, subțire, în formă de U: hioidul.

Osul se regăseşte şi în scheletul tău: e ascuns în partea superioară a gâtului, chiar sub mandibulă. S-ar putea să-l simți la pipăit, dacă formezi un C cu degetul mare şi arătătorul şi îți ciupeşti gâtul la câțiva centimetri sub falcă. Probabil vei simți acolo ceva foarte dur, pe care-l poți chiar mişca puțin pe orizontală. (Nu insista şi nu apăsa prea tare, fiindcă după o vreme doare destul de tare.)

Osul hioid este o ancoră importantă pentru tot felul de muşchi şi ligamente din gură şi din gât. Muşchii care formează baza gurii se ataşează de suprafața interioară a mandibulei, în partea din față a osului hioid, aflat mai în spate. Un muşchi al limbii împărțit în două, numit hioglos, porneşte de la osul hioid şi se întinde, lățindu-se, în sus, în corpul limbii. Muşchiul stilohioidian este un muşchi subțire, care se întinde, împreună cu ligamentul fibros cu acelaşi nume, de la procesul stiloid (un pinten subțire care coboară din osul temporal, sub craniu) până la osul hioid. Mai jos, tot în gât, se află sub osul hioid laringele, fixat cu o membrană de țesut fibros şi câțiva muşchi.

Laringele este un detaliu anatomic extraordinar de complex. E foarte mic, având vreo 3 cm diametru şi 4 cm lungime, dar cuprinde nouă cartilaje separate, conectate între ele prin ligamente şi membrane,



Laringele uman

de care sunt prinse părți mobile cu muşchi minusculi. Cele mai mari cartilaje din laringe sunt cel tiroid (cu care ne-am mai întâlnit) şi cel cricoid. „Cricoid“ înseamnă, în greaca veche, „în formă de inel“, iar cartilajul acesta chiar seamănă puțin cu un inel cu pecete. Cartilajul tiroid este cunoscut sub numele de „mărul lui Adam“ şi este mult mai proeminent la bărbați decât la femei. Cartilajul tiroid, în formă de fluture, se află deasupra celui cricoid, în formă de inel, iar câteva articulații mărunte îi permit să se deplaseze uşor.

Pe interiorul laringelui se întind două ligamente elastice, ca nişte corzi, între suprafața interioară a cartilajului tiroid, în față, şi două cartilaje foarte mici, piramidale, plasate mai în spate, pe cricoid. (Mie una mi se pare că arată ca nişte piramide miniaturale şi lunguiețe, dar cine le-a botezat a considerat, se pare, că aduc mai degrabă a polonice: se numesc cartilajele aritenoide – „în formă de polonic“.) Ligamentele acestea prinse de cartilajele aritenoide sunt coardele vocale. Muşchii ataşați de cartilajele mici, piramidale, care ancorează coardele vocale în partea din spate, le permit acestora să se lipească una de alta pentru a închide deschizătura către partea inferioară a traheei. Mişcarea se produce automat când înghițim, pentru ca bolul alimentar să nu coboare în trahee şi plămâni. În acelaşi timp, epiglota în formă de frunză (alt cartilaj al laringelui) se lasă şi ea peste deschizătura laringelui şi o protejează. Coardele vocale se apropie pentru a bloca traheea şi atunci când ne pregătim să ridicăm un obiect greu („ştim“ subconştient că trebuie să ținem aer în plămâni ca să ne sporim rigiditatea trunchiului), sau când eliminăm fecalele sau, ei bine, da, când expulzăm un bebeluş. Uneori, în astfel de situații, e greu să împiedici aerul să scape printre coardele vocale şi se întâmplă să gemi. (Nici o grijă, e perfect normal – acum ştii şi de ce.)

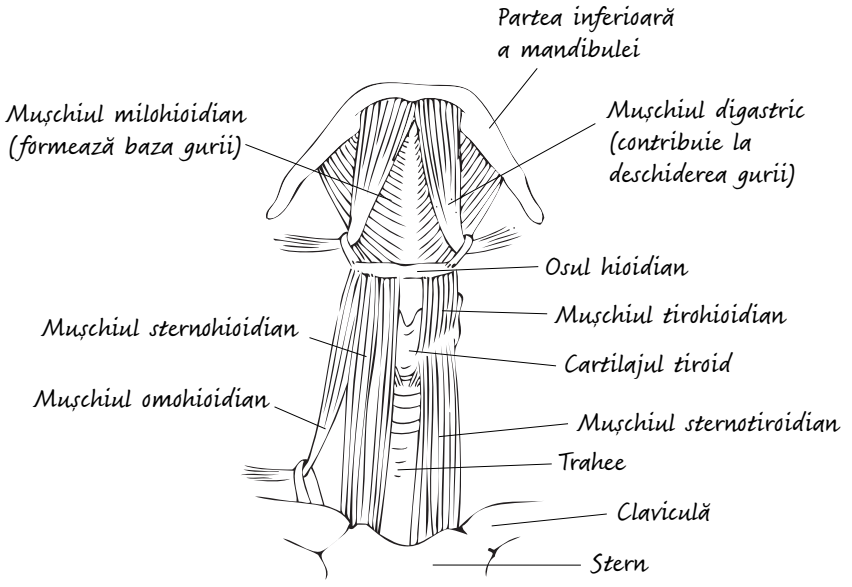
Rolul acesta al laringelui – de valvă care închide calea spre trahee şi plămâni – este funcția lui originală din punct de vedere evolutiv. Laringele mai are, bineînțeles, şi rolul de organ fonator: aici se naşte sunetul vocii.

Când vorbim, cartilajele aritenoide apropie coardele vocale şi le întind. Când un curent de aer este împins printre ele, le face să vibreze şi generează un sunet – aceeaşi mecanică prin care se creează sunetul în instrumentele de suflat. Înălțimea vocii depinde de lungimea coardelor vocale. La femei acestea măsoară între 1,25 şi 1,75 cm, iar

la bărbați – între 1,75 şi 2,5 cm lungime. Cu alte cuvinte, laringele masculin este mai lung şi iese în afară mai mult, formând un „măr al lui Adam“ proeminent.

Fireşte, ne putem controla înălțimea vocii. Creăm note mai înalte întinzându-ne coardele vocale. E unul dintre lucrurile pe care le facem natural, fără să ne gândim. Se întâmplă atunci când se contractă muşchiul cricotiroidian din partea din față a laringelui; acest muşchi ridică cartilajul cricoid, apropiindu-l de cel tiroid. Poți simți şi tu mişcarea în gât: găseşte-ți mărul lui Adam, apoi coboară degetele, apăsând uşor, până găseşti un mic orificiu. E spațiul dintre cartilajul tiroid şi cel cricoid. Ține degetul acolo şi scoate un sunet slab, înalt, un fel de „hiii“. Ai văzut? Probabil ai simțit cum orificiul dispare ca urmare a acțiunii muşchiului cricotiroidian, care trage în sus partea din față a cricoidului, spre cartilajul tiroid. Cartilajul cricoid este prins în aşa fel de cel tiroid, încât se mişcă asemenea unui balansoar cu susul în jos. Când muşchiul cricotiroidian îi ridică partea de sus, partea posterioară a cartilajului cricoid coboară, odată cu cartilajele aritenoide. Mişcarea întinde coardele vocale, astfel încât, atunci când împingi aerul printre ele, rezultă un sunet înalt.

Întrucât vorbirea este o trăsătură omenească definitorie, nu putem să nu ne întrebăm cât de special este laringele uman. E tentant să ne închipuim că e enorm de complicat în comparație cu laringele altor mamifere, dar nu e aşa. Avem un laringe destul de comun printre mamifere, fără accesorii fandosite, ceea ce nu e tocmai surprinzător, dat fiind că, de fapt, anatomia de deasupra laringelui este cea care modulează sunetul de bază emis de laringe şi generează vorbirea. O silabă vorbită începe cu sunetul produs de vibrația coardelor vocale, dar, când auzim pe cineva vorbind, nu percepem un simplu zbârnâit. Coloana de aer de deasupra coardelor îşi schimbă forma în timpul vorbirii, iar principalul factor care controlează forma pasajului prin care trece aerul şi sunetul produs este limba. Putem crea o explozie de energie acustică apăsând limba de cerul gurii şi dându-i drumul, ceea ce produce un „d“ sau un „t“, sau putem lăsa o deschizătură mică, prin care vom împinge un „sss“. Şi buzele contribuie la formarea consoanelor: opresc şi apoi lasă să treacă aerul ca să genereze un „b“, un „m“ sau un „p“, sau se unesc cu dinții şi creează un „f“ sau un „v“. Controlându-ne limba în timp ce aerul trece liber peste ea, modulăm vocalele.



Pe osul hioid se fixează mai mulți mușchi.

Eu mi-am urmărit anatomia vocală în acțiune. La scanarea RMNf la care am văzut cum mi se activează neuronii-oglindă, mi-am văzut buzele şi limba cum munceau din greu să formeze un şir de vocale şi consoane în timp ce vorbeam. În cadrul unui material despre anatomia vocală, am pronunțat în scaner nişte cuvinte pe care aveam să le repet afară, într-o cafenea, ca să suprapunem filmarea cu mine vorbind cu animația produsă prin RMNf. Am spus:

„Aerul din plămâni e împins cu forță printre coardele vocale, pe care le face să vibreze. Sunetul urcă şi e modulat de limbă şi buze, iar rezultatul final e vorbirea… aaa… eee… ooo.“

M-au fascinat imaginile animate produse prin RMNf, în care mi se vedeau laringele, limba şi cerul gurii în acțiune în timp ce vorbeam. Vedeam clar anatomia fiecărei consoane, dar cele mai interesante erau vocalele – aaa, eee, ooo –, fiindcă nu ştiam la ce contorsiuni se deda limba pentru a le forma. La „aaa“, limba se strângea în spate, spre gât; la „eee“, partea din mijloc a limbii se ridica foarte aproape de cerul gurii; la „ooo“, limba căpăta o formă ciudată, se curba în sus, lăsând un spațiu gol în față.

Limba are un rol extrem de important în formarea vorbirii inteligibile – şi chiar *este* diferită de limbile altor mamifere, inclusiv ale celor mai apropiate rude ale noastre, cimpanzeii. În parte din cauza „botului“ nostru foarte scurt, limba omului nu e lungă şi plată, ca la majoritatea mamiferelor, ci rotunjită şi foarte mobilă. Dar, ca şi laringele, limbile nu se fosilizează. Aşadar, dacă vrem să ştim când şi-au dezvoltat strămoşii noştri limbi mari şi mobile, trebuie să căutăm indicii la schelete, cu ajutorul cărora să deducem câte ceva despre anatomia țesuturilor moi – ceea ce nu e uşor. Chiar dacă nu vom putea şti niciodată cum arăta muşchiul limbii la strămoşii noştri, putem obține informații despre el studiind nervul care-l deserveşte: hipoglosul. De obicei, nervii care au un nume sunt suficient de mari cât să fie vizibili cu ochiul liber şi sunt mănunchiuri ce conțin, de multe ori, sute de mii de fibre nervoase individuale. Fiecare fibră a nervilor motori, aşa cum este nervul hipoglos, va ajunge în cele din urmă la muşchi şi va inerva un grup de fibre musculare numit „unitate motorie“. Aşadar, mărimea nervului hipoglos, care depinde de numărul de fibre nervoase pe care le conține, trebuie să ne spună, aproximativ, câte unități motorii avea limba. Mai multe unități indică un control mai bun al limbii – fapt ce înlesneşte vorbirea.

Dar şi nervii sunt tot țesut moale; nici ei nu se fosilizează. Totuşi, nervul hipoglos este unul dintre nervii cranieni, nervi care ies din creier: majoritatea ies din craniu ca să inerveze structuri exterioare. (Avem douăsprezece perechi de nervi cranieni, iar pe unii dintre ei i-am cunoscut deja, anume pe cel optic, olfactiv şi vestibulocohlear.) Nervul hipoglos iese din craniu printr-un canal al lui, canalul hipoglosului, de la baza craniului, aproape de gaura occipitală (*foramen magnum*), prin care iese trunchiul cerebral, care se continuă cu măduva spinării.

Spre sfârşitul anilor ’90, un grup de anatomişti de la Duke University din Durham, SUA, şi-au propus să măsoare canalul hipoglosului din cranii de om, cimpanzeu şi gorilă şi din câteva cranii fosile de hominizi. Ideea nu era deloc rea. În medie, canalul hipoglosului la om era cam de două ori mai mare decât la cimpanzeu şi de trei ori mai mare decât la gorile. La australopiteci – hominini timpurii care au trăit în Africa acum două-patru milioane de ani – canalul era mic,

asemănător cu al cimpanzeilor şi al gorilelor. Când au studiat craniile unor hominizi de mai târziu, printre care se aflau şi un *Homo heidelbergensis* (strămoşul comun al neanderthalienilor şi al omului modern) şi un om de Neanderthal, au observat că orificiul era mai mare: comparabil cu cel din craniul de om. Dacă un canal al hipoglosului mai mare înseamnă un nerv mai mare care inerva limba şi o capacitate de vorbire asemănătoare cu a omului, atunci aspectul acesta definitoriu pentru rasa umană exista deja acum cel puțin 400 000 de ani, la strămoşii noştri apropiați, şi a existat, probabil, şi la verii noştri, oamenii de Neanderthal.

E o poveste fascinantă. Din păcate, la doar un an după publicarea rezultatelor, o a doua echipă de cercetători americani a anunțat nişte descoperiri care puneau la îndoială ipoteza hipoglosală a evoluției vorbirii, cea atât de frumos pusă la punct. Aceştia din urmă au măsurat canalele hipoglosului la 104 cranii de om modern şi la 75 de cranii aparținând altor primate. În grupul acesta mai amplu, au găsit o variație mult mai mare a dimensiunilor canalului hipoglosului uman, care coincideau cu dimensiunile canalului altor primate antropoide şi al homininilor preistorici. De fapt, primatele cu cele mai mari canale ale hipoglosului s-au dovedit a fi maimuțele mici şi primatele din subordinul *Strepsirrhini* (lemurieni şi lorişi), or nu susține nimeni că animalele acestea ar fi în stare să vorbească! Un studiu bazat pe disecții a îngropat definitiv ipoteza cu pricina, arătând că mărimea canalului hipoglosului nu este un indicator de încredere al mărimii propriu-zise a nervului hipoglos.

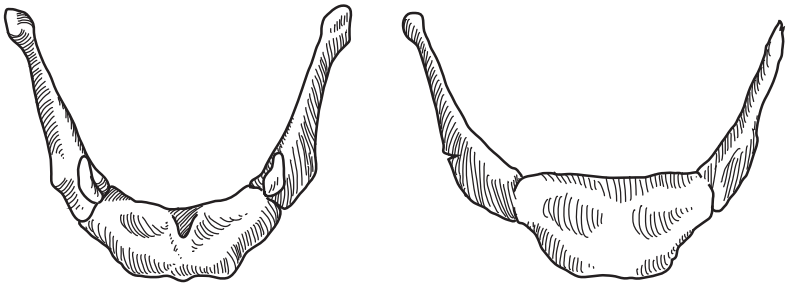
Ne-am lămurit aşadar cu canalul hipoglosului. Dar cum rămâne cu osul hioid? Ne poate el oare ajuta să determinăm originile vorbirii? Cei care au descoperit hioidul la omul de Neanderthal din peştera Kebara din Israel erau de părere că da. Ei susțineau că osul respectiv semăna atât de tare cu echivalentul lui la omul modern, încât capacitatea de vorbire a neanderthalienilor trebuie să fi fost complet dezvoltată. Alte două oase hioide din celebrul sit Sima de los Huesos din Sierra de Atapuerca, în Spania, care au aparținut unor oameni de Neanderthal arhaici, seamănă şi ele foarte mult cu ale noastre. S-a mai descoperit un os hioid fosil de la o specie de hominini mai timpurie, *Australopithecus afarensis*, care seamănă mai mult cu cel de cimpanzeu.

Se poate, deci, ca australopitecii să fi fost incapabili de actul vorbirii, dar ca neanderthalienii să fi putut sta de vorbă după pofta inimii.

E o afirmație prea mare pentru un os atât de mic şi e, pesemne, o exagerare. Laringele e suspendat, într-adevăr, de osul hioid, dar analiza hioidului nu ne dă nici o informație despre țesutul moale – nici despre cartilajele laringelui. Dacă mi-aş îngădui să fiu foarte sarcastică, aş spune că a încerca să recreăm atâta țesut moale, inclusiv laringele în sine, doar pe baza osului hioid ar fi ca şi cum am încerca să reconstituim o rochie pornind de la umeraş.

Se prea poate ca anatomia să nu ne spună niciodată când şi-au dezvoltat strămoşii noştri capacitatea de a vorbi. Aşa cum am văzut, laringele uman nu iese în evidență printre laringele altor mamifere. Dar aparatul nostru fonator *are* totuşi ceva neobişnuit în comparație cu cel al altor mamifere, anume poziția lui: e plasat foarte jos în gât. Rămâne astfel un canal vocal lung între coardele vocale şi buze, suficient de lung cât să permită producerea unei game largi de sunete. Limba, vălul palatin, buzele şi dinții modulează puseul de aer venit din laringe, creând consoane şi vocale, aşa cum am văzut în animațiile RMNf cu propriul meu aparat vocal.

Philip Lieberman, cercetător american specializat în ştiințele cognitive, studiază de decenii anatomia, funcționarea şi evoluția căilor vocale umane. El afirmă că poziția joasă a laringelui la omul adult este importantă datorită efectelor ei asupra poziției limbii. Dată fiind aşezarea joasă a laringelui şi a osului hioid, partea din spate a limbii capătă o poziție care poate afecta dimensiunile faringelui (din spatele limbii) şi ale cavității bucale (aflată deasupra şi în fața limbii). În plus, curbura aceasta în unghi drept dintre cavitatea orală şi faringele uman separă efectiv tractul vocal în două tuburi de lungime egală, lucru pe care Lieberman îl consideră important pentru capacitatea noastră de a produce vocale distincte – „aaa“, „eee“, „ooo“. Capacitatea de a produce vocale diferite din punct de vedere acustic pare un lux, dar fără ea creierul nostru n-ar avea nici o şansă să decodifice ce vrea să spună altcineva când scoate sunetele respective. Neanderthalienii nu ar fi putut avea un tract vocal cu două tuburi de lungimi egale, ca noi, fiindcă aveau mandibula lungă, deci şi o cavitate bucală foarte lungă. Dacă ar fi avut un tub faringian la fel de lung, deasupra coardelor vocale, laringele s-ar fi situat foarte



Osul hioid al omului modern (stânga) și osul hioid al unui om de Neanderthal din Kebara

jos, tocmai în piept – lucru imposibil din punct de vedere anatomic. Să înțelegem de aici că neanderthalienii produceau vocale indistincte şi că erau ininteligibili? Lieberman credea că da, dar alți oameni de știință nu sunt de acord: şi copiii de zece ani au proporții asemănătoare ale căilor vocale şi, în general, sunt destul de uşor de înțeles.

Cum suna, aşadar, vocea omului de Neanderthal? Anna Barney, expertă în acustică, Sandra Martelli, anatomist, şi colegii lor de la Southampton University şi de la University College din Londra şi-au propus recent să afle răspunsul (la această întrebare, dar şi la altele mai serioase, privind capacitatea omului de Neanderthal de a produce vocale distincte din punct de vedere acustic). Echipa a creat reconstituiri virtuale ale căilor vocale pe baza tomografiilor unor subiecți vii şi ale unor fosile de om de Neanderthal, după care a folosit un model computerizat de simulare a vorbirii pentru a afla cât de diferit ar suna un neanderthalian față de omul modern.

În modelul virtual, poziția estimată a osului hioid la omul de Neanderthal era imediat sub mandibulă, aşa cum este şi la noi, dar distanța de la osul hioid la partea din față a gurii era mai lungă decât la omul modern, fiindcă neanderthalienii au mandibula mai lungă. Şi distanța dintre osul hioid şi coloana cervicală (spațiul în care se află partea superioară a faringelui) era mai mare la ei. Aşadar, limba nu se putea retrage spre faringe ca la noi, ceea ce influențează vocalele, după cum a demonstrat simularea acustică. Dacă vocalele „e“ şi „o“ erau asemănătoare cu cele emise de omul modern, căile

vocale ale omului de Neanderthal virtual nu puteau produce un „a“ ca al nostru – vocală generată când limba se trage înapoi, modificând forma faringelui superior din spatele ei, exact cum văzusem eu în scanarea RMNf.

MITURILE LARINGELUI

Laringele uman plasat mai jos şi rolul său în vorbire ilustrează perfect cât de fascinant şi de frustrant este să încerci să reconstitui istoria evolutivă a unui organism şi a componentelor sale. Ar fi foarte uşor să presupunem că majoritatea elementelor noastre anatomice sunt perfect adecvate funcției lor. Poate că încă ne mai place să ne considerăm apogeul evoluției, treapta cea mai înaltă de pe *scala naturae*, şi nu o crenguță care a reuşit să supraviețuiască într-o zonă a arborelui vieții care, în afara noastră, a suferit o mulțime de ciuntiri.

Dar, dacă ne gândim puțin, ar fi imposibil ca fiecare detaliu anatomic al organismului nostru să se potrivească perfect cu funcția lui, ca să nu mai spunem că majoritatea au mai mult de un rol. La unele structuri predomină o funcție anume, care, prin selecție naturală, va influența puternic forma acelor structuri, dar este de aşteptat ca nevoia de a îndeplini şi alte funcții să genereze tensiune. Vor exista inevitabil compromisuri. Aşadar, forma finală a fiecărei structuri va reprezenta, probabil, o cale de mijloc în materie de proiectare, indiferent de funcția din perspectiva căreia o analizăm.

La fel de tentant este şi să considerăm fiecare element anatomic o adaptare, ceva la care a lucrat selecția naturală, ca să-i ajusteze forma actuală la funcția de acum. Presupunem că laringele uman a coborât în gât pentru ca vocalizarea să fie mai bună, mai clară poate. Ca urmare a faptului că laringele uman adult este poziționat foarte jos în gât, tractul vocal se compune din două tuburi de lungime egală – trăsătură de care se pare că e nevoie pentru a produce vocale distincte.

Mitul despre evoluția unică a laringelui uman, plasat mai jos decât la alte specii, ne spune şi că un laringe cu poziție joasă este un potențial pericol letal: sporeşte riscul de sufocare. În termeni evolutivi, avantajul limbajului a fost mai puternic decât primejdia de sufocare. La alte mamifere, laringele se găseşte mai sus, iar vârful epiglotei ajunge sus, deasupra vălului palatin. Astfel, tubul faringian rămâne

separat de cel alimentar. La oameni, poziția laringelui este mult mai joasă, iar vârful epiglotei se află cu mult sub vălul palatin. Când înghițim, bolul alimentar trebuie să treacă peste extremitatea de sus a laringelui, obturând tubul respirator şi riscând să cadă în el.

Povestea aceasta mi-a trezit întotdeauna suspiciuni. În primul rând, câinele meu se îneacă adesea cu bucăți prea mari de mâncare (dar, din fericire, reuşeşte să-şi elibereze tractul respirator scuipându-le pe jos). În al doilea rând, deşi e adevărat că epiglota ajunge la vălul palatin când animalul *nu* înghite, atunci când înghite epiglota se va lăsa în jos, nu va mai atinge vălul palatin, iar mâncarea mestecată va trebui să treacă peste laringe ca să ajungă în faringe şi esofag – cum se întâmplă şi la noi. În ciuda poziției joase a laringelui nostru, înghițim cam la fel ca majoritatea mamiferelor.

Leslie Aiello, antropolog evoluționist, s-a îndoit şi ea de adevărul teoriei despre sufocare. Analizând evidența deceselor din Marea Britanie în ultimul secol, a descoperit, în primul rând, că sufocarea era o cauză de deces rară, iar în al doilea rând, că riscul de sufocare nu părea să fie mai ridicat la adulți, la care laringele se află mai jos, decât la copii, al căror laringe încă nu a coborât atât de jos în gât.

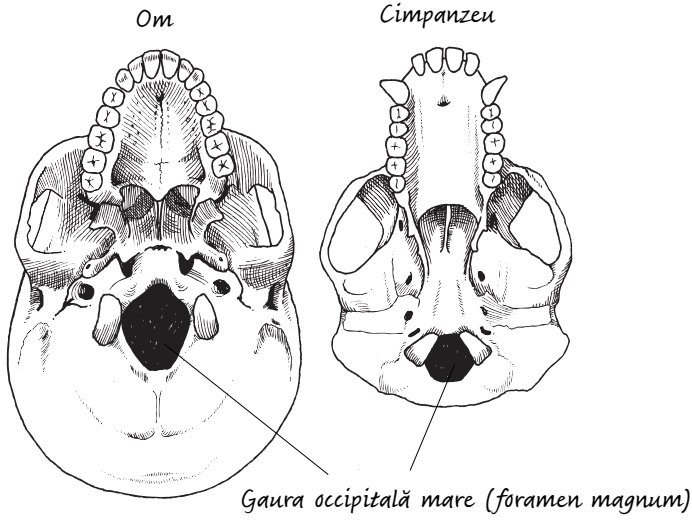
Aşadar, nu stă în picioare argumentul potrivit căruia selecția naturală a determinat laringele să coboare pentru a facilita limbajul, în ciuda riscului crescut de moarte prin sufocare. Mai mult: dacă poziția joasă a laringelui *nu* urmărea să favorizeze limbajul? Dacă laringele se situa acolo dintr-un motiv cu totul diferit şi, pe termen lung, aşezarea lui s-a dovedit a fi foarte folositoare pentru limbaj?

Capul stă în vârful zonei cervicale a coloanei vertebrale – gâtul. Coloana cervicală a cimpanzeului se articulează ducând craniul în spate. Dacă punem față în față craniul uman şi pe cel de cimpanzeu, vedem clar că gaura occipitală mare, prin care iese trunchiul cerebral din craniu înainte să devină măduvă, este situată diferit. La cimpanzeu, gaura occipitală mare este mult mai aproape de partea posterioară a craniului decât la om. De o parte şi de alta a ei (la ambele specii) se află două suprafețe ovale numite condili occipitali – aici se articulează craniul cu prima vertebră a coloanei vertebrale.

Noi, oamenii, suntem bipezi în marea majoritate a timpului; ne deplasăm frecvent pe două picioare. Anatomia ne reflectă poziția bipedă, dar nu numai picioarele şi pelvisul au trebuit să se adapteze

la stilul nostru de viață biped, ci şi coloana vertebrală, care a căpătat o formă de S dublu. Schimbarea locului unde se ataşează capul de şira spinării a fost determinată de postură: capul nostru e situat în vârful unei coloane verticale. De aceea gaura occipitală mare şi condilii occipitali au migrat spre partea anterioară a craniului. A contat, de asemenea, şi creşterea creierului, care a dus la curbarea în afară a părții din spate a craniului, în spatele găurii occipitale.

Dar să ne uităm din nou la partea inferioară a celor două cranii. Observați cât de aproape este la om gaura occipitală de partea posterioară a osului palatin. La craniul de cimpanzeu, orificiul este mult mai departe, astfel că structurile se pot suprapune în zona gâtului, în spatele mandibulei. Când strămoşii noştri au început să se deplaseze constant pe două picioare, laringele a fost nevoit să coboare, altfel ar fi rămas înghesuit între limbă şi coloana vertebrală, făcând imposibilă respirația şi înghițirea. Se poate, aşadar, ca poziția joasă a laringelui uman să fie un efect secundar al mersului biped, nu o adaptare pentru vorbire. Cum mersul pe două picioare este cea mai timpurie trăsătură „umană“, apărută odată cu strămoşii noştri hominini, s-ar părea că laringele a coborât foarte devreme în evoluția umană – cu mult înainte ca precursorii noştri să înceapă să vorbească.



La craniul uman, gaura occipitală mare se află mai în față.

Cu toate acestea, antropologul evoluționist Dan Lieberman susține că e posibil ca mersul biped să nu fi determinat de unul singur coborârea laringelui. El sugerează că mandibulele proeminente ale strămoşilor noştri australopiteci îi permiteau laringelui să rămână sus. Abia odată cu apariția genului nostru, *Homo*, ai căror reprezentanți aveau fața mai plată (caracteristică survenită, poate, ca urmare a unor schimbări alimentare, printre care, se pare, şi gătitul, schimbări care au dus la apariția unor dinți mai mici), ar fi ajuns laringele să nu mai aibă loc şi să fie împins în gât.

Chiar dacă acceptăm ipoteza că în evoluția umană laringele a coborât devreme, dintr-un alt motiv, tot nu ştim când şi-au dezvoltat strămoşii noştri abilitatea umană fundamentală a limbajului. Chiar dacă *Homo* aveau instrumentele anatomice necesare în cavitatea bucală şi în gât, se poate ca acestea să fi stat acolo sute de mii de ani până să fie folosite pentru producerea limbajului. Schimbările anatomice importante care au făcut posibilă vorbirea s-au petrecut în craniu, în creierul tot mai mare al omului timpuriu.

Încercările de a reconstitui canalul vocal al omului de Neanderthal au arătat că acesta avea, probabil, vocea diferită de a noastră şi că articula vocalele mai puțin clar. Nu avem nici un motiv să ne îndoim de capacitatea omului de Neanderthal de a vorbi (iar mulți arheologi cred că tehnologia şi cultura lui oferă argumente puternice în favoarea existenței limbajului). Firește, se poate ca selecția naturală să fi ameliorat capacitatea de a vorbi a omului modern în comparație cu a omului de Neanderthal. Dar e posibil ca noi să fi avut un avantaj de la bun început din alte motive: fețele noastre mai plate şi mandibulele mai scurte au creat, poate, printr-o întâmplare fericită, un canal vocal cu două tuburi de lungime egală, permițându-ne astfel să emitem vocale mai clare.

Poziția relativă a laringelui se schimbă pe măsură ce copilul creşte. La opt ani, cele „două tuburi“ ajung la raportul ideal de 1:1 şi, deşi copilul va continua să crească timp de mulți ani, raportul respectiv se va păstra, cel puțin la fete, chiar şi în timpul pubertății. La băieți, bineînțeles, lucrurile stau altfel. Când li se schimbă vocea, coardele vocale se lungesc, dar, în acelaşi timp, laringele ajunge şi mai jos în gât, stricând raportul perfect de 1:1.

Aşadar, dacă există un canal vocal apropiat de perfecțiune la adulți – din nou, e vorba de capacitatea aceea importantă de a

produce vocale foarte diferite între ele – acesta se găseşte la femei. Studiile recente au arătat că, la femei, canalul vocal produce o gamă mai mare de vocale distincte decât la bărbați. Faptul că laringele a continuat să coboare la bărbații adulți nu le-a adus acestora nici un avantaj evolutiv legat de îmbunătățirea articulării limbajului. Dar, deşi pierd din claritate, bărbații câştigă totuşi ceva din poziția mai joasă a laringelui: vocea profundă. Se poate ca trăsătura aceasta să fi apărut prin selecție sexuală: dacă femeile din trecutul nostru îndepărtat îi considerau mai atrăgători pe bărbații cu voci mai groase, probabil fiindcă o voce groasă sugerează un corp masiv, atunci bărbații cu laringele situat mai jos au avut un avantaj în a-şi transmite genele.

MASCULI CU VOCI PROFUNDE

S-ar putea deduce din ce am spus până acum despre laringe că poziția sa mai joasă e o trăsătură strict umană. Dar nu e deloc aşa. Cerbii comuni şi cerbii lopătari au şi ei laringele jos, mai ales în rut, când îşi semnalizează mărimea prin răgete. Cerbii pot fi foarte insistenți, boncăluind şi de două ori pe minut cât e ziua de lungă. Lupta este dură, iar răgetul le permite masculilor să-şi estimeze reciproc mărimea şi priceperea înainte să-şi asume vreun risc.

Toamna, căprioarele se adună în grupuri, iar cerbii vin să le întâlnească. Cerbii maturi îşi formează haremuri de căprioare, pe care le apără cu tenacitate ținându-şi adversarii la respect cu lungimea coarnelor. Sunt atât de înverşunați, încât aproape că uită să mai mănânce şi pot pierde până la 20% din masa corporală.

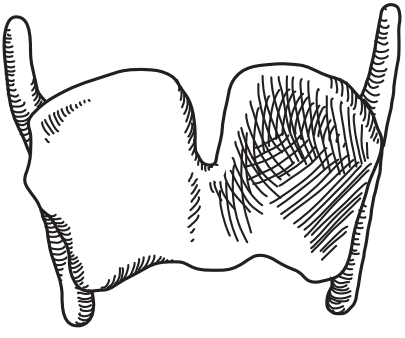
Când se apropie un cerb concurent de un cerb cu harem, mai ales dacă cei doi au dimensiuni comparabile, de multe ori are loc un concurs de răgete. Puține astfel de întreceri ajung violente. Studiile au arătat că, în concursurile de boncăluit care duc la lupte, frecvența răgetelor celor doi cerbi determină cu destul de mare acurateţe câştigătorul: câştigă cerbul care rage mai des.

Poziția laringelui la cerbii comuni sau la cerbii lopătari este comparabilă cu poziția laringelui la om, dar, evident, nu are nimic de-a face cu vorbirea. Ține mai degrabă de răgete – cu cât mai profunde, cu atât mai bine. Atunci când cerbul rage, laringele coboară şi mai

jos în gât; muşchii infrahioidieni, care pornesc de la stern şi ajung la cartilajul tiroid al laringelui şi la osul hioid de deasupra lui, beneficiază de un tratament-şoc cu steroizi în perioada dinaintea rutului. Când masculul rage, muşchii respectivi trag laringele şi mai jos în gât (mai jos decât la oameni), ceea ce lungeşte coloana de aer din faringe, deasupra coardei vocale, şi coboară tonul. În canalul vocal al cerbului, prevăzut cu două tuburi, faringele devine în etapa aceasta de două ori mai lung decât cavitatea bucală. La cerbul comun, laringele coboară până la stern – cu alte cuvinte, la maximum.

Sunetele de frecvență joasă se transmit mai departe decât cele de frecvență înaltă; se poate, deci, ca răgetul profund generat de un laringe plasat atât de jos să le dea cerbilor un avantaj evoluționar, fiindcă ajunge mai departe. Problema acestei ipoteze este însă că majoritatea răgetelor par să fie îndreptate către masculii care s-au apropiat prea tare, din punctul de vedere al emitentului. O altă ipoteză ar fi că un glas deosebit de jos sugerează un corp masiv. Lungindu-şi canalul vocal, cerbul îşi exagerează (inconştient, fireşte) mărimea.

Se pare că laringele coboară sau se retrage şi la alte animale, fiind suspendat de membrane şi ligamente foarte elastice. Nu ar trebui să ne mire că e vorba tot de animale care rag: leul, tigrul şi elefantul, cu vocea lui de trompetă. S-ar putea zice că ne hazardăm, dar toate acestea sunt importante pentru evoluția omului, fiindcă dezvăluie alte cauze ale poziției joase a laringelui, pe lângă capacitatea de a vorbi. Se pare că laringele uman se află chiar mai jos decât ar fi necesar ca să nu pună problema în anatomia unei viețuitoare cu fața mică,



Cartilajul tiroidian al laringelui

la care craniul se sprijină pe o coloană verticală. Dar, chiar dacă am reuşi să aflăm de ce anume a coborât laringele până la poziția lui actuală, tot n-am fi absolut siguri că motivul a fost o adaptare la limbaj. Se poate să fi fost vorba de exagerarea mărimii, cum pare să fie cazul la alte mamifere; mai ales că, din câte ştim noi, cerbii, leii, tigrii şi elefanții nu vorbesc.

Celelalte mamifere ne arată, poate, de ce au dezvoltat masculii umani voci mai profunde: probabil pentru că femeile preferau, şi încă mai preferă, vocile care creează un fel de „efect Barry White". Un studiu efectuat recent la Aberdeen University a arătat că femeile nu doar că preferă vocile profunde, dar îşi amintesc mai uşor un mesaj care le-a fost comunicat de un bărbat cu o voce profundă! Poate fi însă vorba şi de faptul că, la fel ca cerbii, bărbații au căpătat capacitatea de a-şi exagera dimensiunile prin vocalizare, pentru a-şi descuraja competiția. Se pare că, subconştient, bărbații se pricep foarte bine să-şi controleze vocea. Chiar dacă aceasta are o „înălțime de referință" fixă, se poate totuşi modula – cum se şi întâmplă.

Într-un studiu efectuat la Pittsburgh University, 111 studenți de sex masculin au participat la un joc al întâlnirilor romantice, în care li s-au înregistrat vocile. Mai întâi, fiecare a fost rugat să citească un pasaj cu voce tare, astfel încât cercetătorii să-i poată stabili vocea „normală". Apoi i s-a spus fiecărui participant că va concura cu un „adversar" nevăzut (înregistrat), care se afla în altă cameră, pentru o întâlnire cu o femeie care se afla şi ea în altă încăpere. Studenții voluntari erau înregistrați şi în conversație cu adversarul. În cele din urmă, trebuiau să completeze un chestionar care urmărea să vadă cât de puternici se simțeau.

Rezultatul studiului e de-a dreptul fascinant şi arată faptul că participanții care se considerau mai puternici fizic decât adversarii lor din altă încăpere au coborât vocea. Dacă un participant se considera mai puțin impunător, îşi subția vocea. Datele sugerează, aşadar, că bărbații pot estima puterea fizică a altui bărbat numai pe baza vocii şi că îşi modifică înălțimea vocii în consecință.

Dacă ne gândim la răgetul cerbilor, totul capătă sens. Dacă masculul uman se consideră dominant, îşi va accentua statutul coborând tonul, ca să-şi intimideze concurenții şi să evite conflictele. Mesajul lui este următorul: „eu voi câştiga atenția fetei şi nu are nici

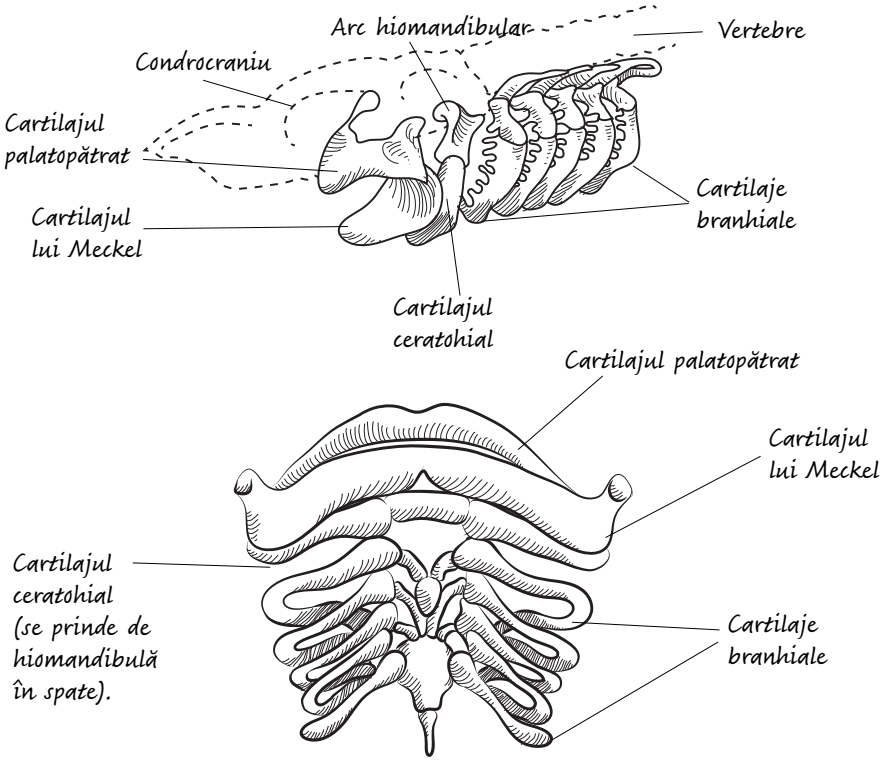
un rost să te lupți cu mine“. Dar dacă masculul se consideră mai puțin dominant, îşi va subția vocea ca să-şi îmblânzească adversarul: „nu te deranja să te lupți cu mine, frate, ai câştigat deja“.

Lupta pentru reproducere nu se limitează la preferințele femelelor pentru masculi, ci implică şi o competiție între membrii aceluiaşi sex pentru accesul la parteneri. În cazul acesta, o voce joasă îl poate ajuta pe bărbat să-i scoată din competiție pe alții, aparent mai puțin puternici, şi îl poate face mai atrăgător pentru sexul opus. Este o situație care nu are decât avantaje – asta dacă nu cumva eşti un bărbat bine făcut, cu o voce duioasă de tenor, excepția care contrazice regula, sau o femeie care-i preferă pe Justin Timberlake sau John Lennon lui Jim Morrison sau Eddie Vedder.

VOCEA DIN BRANHII

Dacă lăsăm deoparte evoluția recentă a speciei noastre şi călătorim mult mai departe în timp, putem afla de unde vine laringele, un organ pe care nu-l au decât vertebratele ai căror strămoşi au părăsit apa pentru a ieşi la mal. Peştii nu au laringe. Dar cum s-a dezvoltat această parte a corpului? Elementele anatomice nu apar din senin, trebuie să aibă un precursor, *ceva* care să poată fi modificat, duplicat sau adăugit puțin. Şi atunci de unde vine laringele?

În anatomia vertebratelor adulte există unele indicii, dar răspunsul devine limpede doar dacă analizăm embrionii. Ne întoarcem astfel la originea vertebratelor şi la populația aceea inovatoare de celule nomade care vin din creasta tubului neural care se închide. Celulele din creasta neurală ajung peste tot – în piele, în inimă şi în glandele suprarenale, ca să numim doar câteva destinații. Unele ajung în țesutul care înconjoară faringele, unde alcătuiesc structuri de sprijin din schelet. Aici creează aşa-numitul „splanhnocraniu“, care formează scheletul feței şi alte țesuturi (semi)dure din gât. Trebuie să renunțăm aşadar la ideea conform căreia scheletul este alcătuit exclusiv din oase: conține şi cartilaje – chiar şi la adult. Cartilajul îmbracă articulațiile mobile ale corpului; uneşte coastele cu sternul şi formează scheletul laringelui – cu care ne-am mai întâlnit când am vorbit de diversele cartilaje: tiroid, cricoid, aritenoid, de epiglotă şi de altele prea mici ca să le mai menționăm.



Perspective diferite asupra arcurilor mandibulare și branhiale ale rechinului, văzute din stânga (sus) și de dedesubt (jos).

La majoritatea peştilor, splanhnocraniul include oasele şi cartilajele care formează şi susțin falca şi branhiile.

Desenul de mai sus reprezintă splanhnocraniul unui rechin adult – inclusiv cartilajul lui Meckel, care formează partea anterioară a fălcii inferioare, adică a mandibulei. Sub el, cartilajul hiomandibular fixează fălcile de capsula otică a craniului (care conține canale semicirculare, ca şi la noi), iar mai jos se află câteva trepte de cartilaj care contribuie la susținerea branhiilor. Rechinii şi pisicile-de-mare sunt peşti cartilaginoşi – tot scheletul li se compune dintr-un cartilaj care nu se osifică.

Tiparul splanhnocraniului este foarte asemănător la toți peştii osoşi (adică aproape la orice peşte la care ne-am putea gândi, în afară de rechin, pisică-de-mare, mixine sau chişcari), cu deosebirea că, deşi

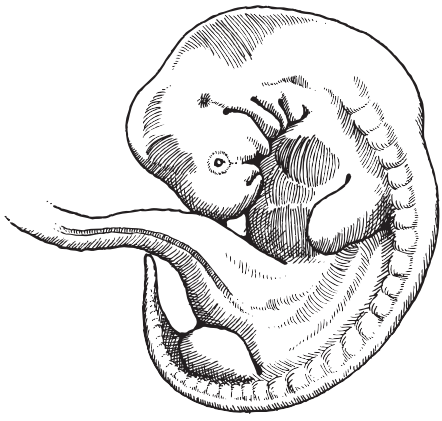
toate aceste structuri apar sub formă de cartilaj în embrion, în cele din urmă se osifică. Pe lângă faptul că devine şi el os, cartilajul lui Meckel, din mandibulă, se îmbracă într-un strat osos nou, care se dezvoltă direct din mezenchim (țesutul embrionar nediferențiat), fără să treacă printr-o fază cartilaginoasă, la fel ca oasele plate ale bolții craniene. Mandibulele şi hioidul peştilor, dar şi barele de cartilaj sau os care susțin branhiile se dezvoltă ca o serie de arcuri branhiale de o parte şi de alta a gâtului embrionului de peşte.

E remarcabil faptul că embrionul *uman* în vârstă de cinci săptămâni are o serie de arcuri care arată exact ca cele branhiale, numai că din ele nu se dezvoltă branhii. Cu atât mai rău, fiindcă mie una mi-ar plăcea să pot respira sub apă. Şi atunci ce se întâmplă cu arcurile noastre branhiale embrionare? E de presupus că sunt simple vestigii moştenite de la un strămoş îndepărtat, dar ştiința a arătat că sunt mai mult decât atât. Par complet redundante la un animal care respiră aer, şi totuşi nu vor să dispară.

Ne-am despărțit de embrionul tău pe când îți formai tubul neural, în a patra săptămână de dezvoltare. În timp ce şanțul neural se închide şi formează un tub, marginile sendvişului cu trei straturi (discul germinativ trilaminar) au început să se curbeze în jos. În cele din urmă marginile se vor întâlni şi, în loc de un sendviş plat, vei avea trei cilindri concentrici: un tub într-un tub în alt tub. Dacă la începutul săptămânii a patra arătai ca un sendviş plat, acum semeni mai mult cu un animal, ai cap şi coadă. Ectodermul din partea superioară a sendvişului-disc germinativ trilaminar îți acoperă acum tot corpul, nu doar spatele. Căptuşeala intestinelor se formează din endoderm, strat care acum nu este ascuns, ci se află înăuntrul corpului. Între ectoderm şi endoderm se află gemul din sendviş: mezodermul. Acum, embrionul se pune serios pe treabă: rețeta începe să funcționeze, dar gătim ceva mult mai complicat decât ar visa vreodată să facă Mary Berry sau Paul Hollywood[1].

Nu s-ar zice, dar cei trei cilindri concentrici reprezintă structura fundamentală a corpului tău. Tubul din afară, ectodermul, va forma stratul exterior al pielii: epiderma. Tubul interior va forma intestinele, de la gură la anus. Între căptuşeala intestinelor şi stratul exterior al

1. Autori britanici de cărți de bucate şi personalități TV (n. tr.).

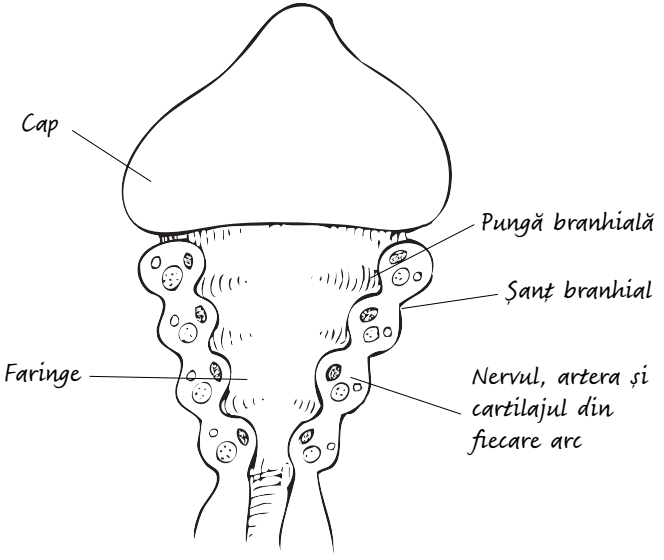


Embrion uman în vârstă de cinci săptămâni.

pielii, mezodermul va furniza materie pentru restul organismului, adică pentru organe, oase şi muşchi.

Embrionul nu stă degeaba; la începutul celei de-a cincea săptămâni încep să ți se întâmple tot felul de lucruri interesante. În gât au apărut deja arcurile branhiale sau faringiene de care vorbeam, câte cinci pe fiecare parte. Arcurile branhiale sunt vizibile din afară, iar suprafața lor interioară se află de o parte şi de alta a faringelui (capătul superior al tubului intestinal) embrionului tău aflat în plină dezvoltare. Exteriorul arcului este acoperit cu acelaşi strat care îmbracă suprafața întregului embrion: ectodermul. Suprafața interioară este căptuşeala tubului intestinal: endodermul. La mijloc se află țesutul embrionar neataşat, numit mezenchim, care provine în parte din mezoderm, în parte din celulele care au imigrat din creasta neurală. Mezenchimul va forma un arc de cartilaj şi muşchi, iar fiecare arc de cartilaj va conține o arteră şi un nerv.

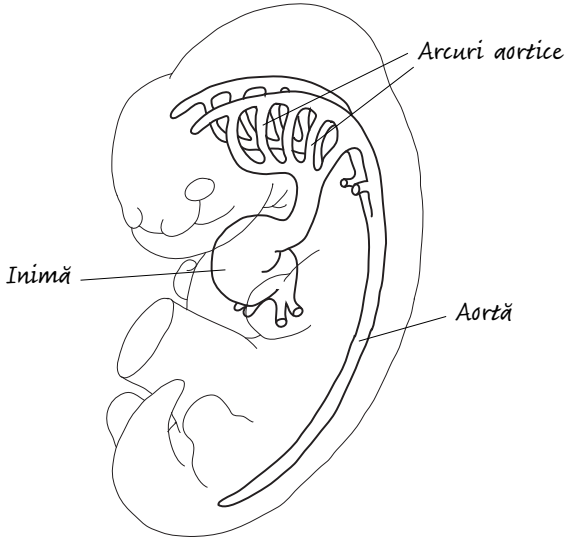
La peşti, aceste componente vor deveni părți esențiale ale branhiilor: cartilajul va susține branhia; artera va aduce sânge dezoxigenat de la inimă la capilarele branhiei, unde se va oxigena, după care va intra într-o arteră mare care trece pe sub coloana vertebrală – aorta dorsală. O parte din mezenchimul din arcul branhial al embrionului de peşte se va transforma în muşchii care deschid şi închid branhiile. Nervul care intră în fiecare arc va deservi muşchii şi va transmite senzații.



Secțiune transversală prin faringele și arcurile branhiale ale embrionului uman.

Noi, oamenii, nu folosim nimic din aparatul branhial. Când strămoşii noştri peşti s-au târât pe uscat, au avut nevoie de o nouă metodă de a extrage oxigenul din mediu şi şi-au înlocuit branhiile cu plămâni. De-a lungul unei foarte mari perioade evolutive, arcurile branhiale şi toate componentele lor au fost reorganizate şi reciclate. Evoluția se pricepe de minune să refolosească sau să recicleze structuri; biologul evoluționist Stephen Jay Gould folosea analogia cu sandalele făcute din anvelope de maşină: ceva ce inițial a fost proiectat cu un scop foarte precis poate deveni complet altceva. În cazul acesta, elemente ale fostelor branhii au fost reciclate, devenind laringe.

Dacă urmărim dezvoltarea cartilajelor din ultimele două arcuri branhiale ale embrionului uman, vom vedea că ajung să facă parte din laringe. Muşchii care ar fi deschis şi închis branhiile strămoşilor noştri acvatici au devenit muşchii mici ai laringelui; parte dintre ei au rolul de a mişca coardele vocale. Nervul care îi deserveşte este un detaliu anatomic foarte bizar.



Arterele arcurilor branhiale duc sângele de la inimă la două aorte dorsale – care, mai jos, se contopesc într-una singură.

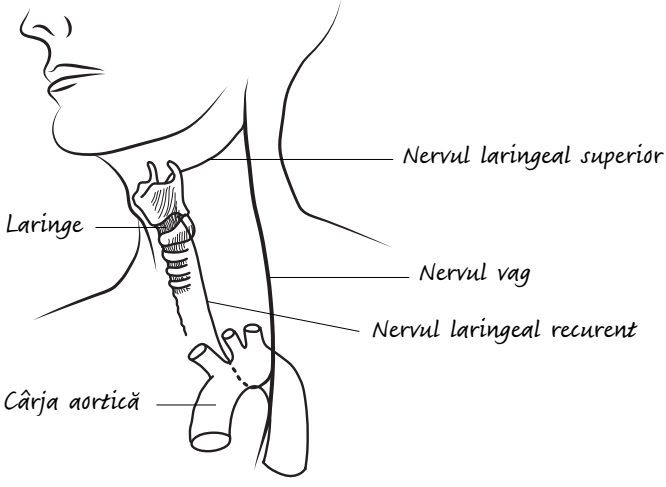
COTITURA AGRAFEI DE PĂR A NERVULUI LARINGEAL RECURENT

Al zecelea nerv cranian (numit şi nervul vag) iese din baza craniului şi coboară în gât, ramificându-se spre laringe. Dar ramificația aceasta nu se îndreaptă direct spre laringe, nici pe departe; dimpotrivă, continuă să coboare în gât, până în piept, după care face o buclă şi urcă din nou până în dreptul laringelui. Acest nerv poartă denumirea de nerv laringeu recurent (care revine).

Călătoria lui este una dintre ciudățeniile uimitoare ale anatomiei umane adulte – şi este cu atât mai extraordinară la girafă, la care coboară până la baza gâtului, apoi urcă din nou. De ce s-ar rătăci în asemenea hal un nerv, încât să facă o buclă tocmai în piept, după care să facă stânga-mprejur şi să se întoarcă în laringe, când o ramificare orizontală, ordonată, în gât, ar fi fost mult mai eficientă? De fapt, aşa şi arată la început în embrion nervul laringeal recurent. Dar arcurile branhiale mai au şi alte structuri care complică situația, anume nişte artere care leagă inima embrionului de aortă.

Inima începe să se dezvolte, la embrion, în zona gâtului. Când încep să crească spre muşchii laringelui, nervii trec pe sub artera cea mai joasă, care merge de la inimă la aortă. Mult mai târziu, inima embrionului coboară în torace şi trage după ea arterele – şi nervii laringeali. Chiar dacă arterele se vor reorganiza complet, nervii sunt deja captivi în piept: cel din stânga trece pe sub cârja aortică, iar cel din dreapta pe sub artera subclavie dreaptă (care va deveni artera principală din brațul drept).

Ciudățenia aceasta anatomică pare inutil de complicată – până când înveți ceva embriologie, după care devine clară. Capătă şi mai mult sens dacă îi aplicăm perspectiva evoluționistă. Nici un animal nu este proiectat de la zero; prezintă doar mici modificări față de precursorii lui. Când vine vorba de nervi şi de vase de sânge, faptul acesta poate duce la o organizare anatomică foarte complicată la adult, fiindcă vorbim de un cumul de cabluri electrice şi conducte cărora li s-au tot adus modificări mărunte timp de milioane de ani. Dacă cumperi o casă veche cu instalația electrică încâlcită şi învechită, o poți înlocui cu totul. Evoluția nu are acest lux, organismele nu pot fi reconfigurate de la zero, ceea ce înseamnă că anatomia lor devine



Nervul laringeal recurent stâng se desparte din nervul vag, face o buclă pe sub cârja aortei, apoi urcă din nou, prin gât, spre laringe.

din ce în ce mai complicată, dar şi că ele cumulează indicii incredibile despre trecutul nostru evolutiv foarte îndepărtat.

ARTICULAȚII TEMPORO-MANDIBULARE ŞI OSICULE

Celelalte arcuri branhiale au şi ele de spus o poveste evoluționară şi embriologică extraordinară. Primul arc are o istorie foarte veche, fiindcă, la majoritatea peştilor, este deja o structură dublă. Dacă analizăm dezvoltarea embrionară a mandibulei la peşti, ne putem închipui un scenariu evolutiv în care un strămoş care se hrănea prin filtrare avea un singur arc branhial, care a trebuit să se „rupă“ la mijloc ca să formeze două fălci. Astfel, primul arc branhial a ajuns să formeze unele părți din maxilar şi din mandibulă, cu o balama la mijloc: articulația temporo-mandibulară. Tija cartilaginoasă din partea inferioară a primului arc branhial, care contribuie la formarea mandibulei, a fost botezat după cel care l-a descoperit: se numeşte cartilajul lui Meckel.

Primul arc branhial este important şi în istoria unui grup de reptile care, prin evoluție, au devenit mamifere. Reptilele acestea au trecut prin schimbări incredibile: au căpătat blană în loc de solzi, şi-au dezvoltat glande mamare şi, în cele din urmă, ca strămoş al celor mai multe mamifere vii a renunțat să mai depună ouă şi a început să nască pui vii. În fălcile şi urechile primelor mamifere se petreceau şi alte schimbări, poate mai subtile, dar la fel de importante.

La reptile, legătura dintre timpan şi cohleea din urechea internă se face printr-un singur osicul, echivalentul scăriței din urechea ta. Dar tu, ca orice alt mamifer, mai ai câte două osicule în fiecare ureche: nicovala şi ciocanul. Sistemul nou din urechea mijlocie – cu trei osicule –, care face legătura dintre timpan şi cohlee, le-a dat mamiferelor un avantaj important, fiindcă le-a permis să audă sunete de frecvențe mai ridicate decât predecesorii lor reptilieni – capacitate folositoare când te furişezi noaptea în căutare de insecte, încercând să nu fii mâncat de viețuitoarele care domină planeta. Mamiferele au evoluat pe vremea când Pământul era stăpânit de dinozauri.

Din punct de vedere evolutiv, putem urmări sursa celor două osicule noi analizându-le dezvoltarea embrionară. Ambele se formează din primul arc branhial – de fapt, fac parte din ceea ce, la rep-

tile, devine articulația temporo-mandibulară. Mamiferele au reuşit să facă din vechea articulație două osicule noi, fiindcă „inventaseră“ o articulație cu totul nouă, care a înlocuit-o pe cea veche, a reptilelor.

Ne rămâne însă o enigmă evolutivă. Pare o scamatorie imposibil de executat, un număr de prestidigitație formidabil: „Şi iată, chiar sub ochii dumneavoastră! Articulația temporo-mandibulară veche se află în ureche şi îi ia locul una nouă!“ Să fi fost posibilă o schimbare atât de rapidă? *Mutatis mutandis*, o putem compara cu gestul pe care îl face cineva care smulge fața de masă de sub serviciul de ceai. Pare improbabil din punct de vedere biologic să fi apărut o articulație nouă *exact* în timpul în care cea veche a fost furată ca să se facă din ea încă două osicule.

Situația a rămas un mister până la descoperirea micului *Morganucodon*, un mamifer timpuriu care a trăit acum circa 205 milioane de ani. Multe fosile ale acestei creaturi mici, asemănătoare cu chițcanul, au fost găsite în comitatul Glamorgan din Țara Galilor (numele lui înseamnă „dinte de Glamorgan“ şi sună ca o boală groaznică). Mandibula de *Morganucodon* este de-a dreptul extraordinară: se articulează cu maxilarul în *două* locuri. Mamiferul acesta avea altfel de dinți decât predecesorii lui reptilieni: cei de jos alunecau pe lângă cei de sus, într-o mişcare de forfecare. Tipul acesta de muşcătură exercită o forță foarte mare asupra mandibulei, aşa că se poate ca o a doua articulație temporo-mandibulară să fi contribuit la contracararea ei. Dar odată ce a evoluat a doua articulație, cea originală era liberă să devină parte din aparatul auditiv. *Morganucodon* este puntea anatomică dintre reptile – cu vechea lor articulație temporo-mandibulară şi un singur osicul în ureche – şi mamifere, cu o articulație nouă şi cu două osicule noi. Am elucidat misterul şi nici n-a rămas nimeni fără mandibulă în cursul transformării.

De fapt, nu era ceva tocmai nou să transformi bucăți din mandibulă în părți ale urechii. Înainte de apariția mamiferelor, reptilele se foloseau deja de astfel de bunuri furate. La rechini, cartilajul hiomandibular prinde mandibula de craniu; aceeaşi structură există (sub formă de os) şi la peştii osoşi: hiomandibula. La animalele terestre, maxilarul s-a ataşat solid de craniu, aşa că nu mai era nevoie de o susținere suplimentară. În acest punct, hiomandibula era superfluă în structura maxilarului; a rămas însă ataşată de capsula otică a craniului, transformându-se în scăriță.

De scărița din urechea umană este prins un muşchi foarte mic – cel mai mic muşchi din corp – care, când se contractă, trage de scăriță şi îi atenuează vibrațiile. Este un dispozitiv de siguranță extrem de important: când auzim un zgomot foarte puternic, muşchiul *stapedius* se contractă, astfel încât vibrațiile intense să nu se transmită în cohlee, unde ar afecta celulele capilare delicate. Dacă scărița este echivalentul hiomandibulei care sprijină mandibula peştilor, micul muşchi al scăriței corespunde unui muşchi care deschide gura peştilor şi a reptilelor.

Alți muşchi care se dezvoltă din al doilea arc branhial al embrionului, ca muşchiul scăriței, au ajuns să intre în alcătuirea feței. Muşchii care operau operculii branhiilor la strămoşii noştri acvatici ne-au dat nouă fețe expresive, inclusiv capacitatea de a zâmbi.

Cel mai important muşchi care contribuie la un zâmbet larg este muşchiul zigomatic mare. Acesta se prinde de partea superioară a pometelui, numită şi zigomă, apoi intră în colțul gurii. Îl deservesc câteva ramificații ale nervului facial, care controlează şi toți ceilalți muşchi implicați în expresiile faciale, proveniți cu toții din al doilea arc branhial. Priveşte-te în oglindă şi zâmbeşte: de o parte şi de alta a feței, muşchiul zigomatic mare îți trage colțurile gurii în sus şi în lateral. Dacă te numeri printre cei la care muşchiul zigomatic mare se separă în două, iar partea inferioară se prinde de pielea care-l acoperă, înseamnă că vei face gropițe în obraji.

Zâmbeşte mai larg: alți muşchi îți vor ridica buza de sus şi o vor coborî pe cea de jos, dezvelindu-ți dantura. Dacă încerci să zâmbeşti şi mai larg, vei pune în acțiune alt muşchi, *rizorius* (însemnând „de râs“, în latină), care contribuie şi el la ridicarea colțurilor gurii. Încearcă însă să foloseşti doar acest muşchi: relaxează-ți fața, apoi trage în lături colțurile gurii. Rezultatul e o grimasă neplăcută: ceva care arată mai mult amenințător sau speriat decât vesel.

Rudele noastre apropiate din rândul primatelor au muşchi de expresie foarte similari, derivați în embrion din al doilea arc branhial, la fel ca ai noştri. Toate primatele au o expresie în care îşi dezvelesc dinții, dar, dacă pe vremuri mulți antropologi susțineau că aceasta ar fi, în esență, echivalentul zâmbetului uman, alții credeau că s-ar apropia mai mult de o grimasă speriată. Studiile mai recente au dezvăluit o situație complexă. Poate nu ar trebui să ne surprindă că „dinții dezgoliți“ par să exprime lucruri diferite de la o specie la alta. La unii

macaci sunt un semn de supunere, dar la maimuțele gelada şi la cimpanzei au mai degrabă un rol împăciuitor şi ajută la formarea legăturilor sociale – cu alte cuvinte, chiar sunt echivalentul zâmbetului uman. La cimpanzei, „dinții dezveliți“ seamănă mult cu un zâmbet: colțurile gurii se ridică, iar buzele se despart (deşi mai mult decât în „zâmbetul complex“ al omului). Sub piele, cimpanzeii au structuri faciale aproape identice cu ale noastre, inclusiv muşchiul zigomatic major şi cel rizoriu. Mai au şi o „expresie jucăuşă“, cu gura deschisă, echivalentă cu râsul nostru.

Faptul că cimpanzeii par să zâmbească şi să râdă este important, fiindcă sunt cele mai apropiate rude ale noastre în viață. Aşadar, probabil şi strămoşul nostru comun zâmbea şi râdea, iar originea acestor expresii este mai veche de şapte milioane de ani, când strămoşii noştri erau încă maimuțe care trăiau în pădure. Putem înțelege chiar şi cum le sporea zâmbetul şansele de supraviețuire. Când ne cuprind emoțiile negative, tindem să ne îngustăm ținta atenției (ceea ce poate fi util când facem față unor amenințări pe termen scurt), dar emoțiile pozitive ne ajută să gândim şi să ne comportăm mai flexibil, ceea ce ne ajută la supraviețuirea pe termen lung. Psihologii au descoperit că gândim mai amplu şi mai creativ când suntem fericiți şi când zâmbim. Dar de ce ne-ar fi de ajutor să ne arătăm fericirea pe chip? Ei bine, una dintre trăsăturile definitorii ale omenirii, care stă la baza succesului nostru ca specie, este capacitatea de a face schimb liber de idei şi de a produce o cultură complexă. Dacă zâmbetul şi râsul acționează ca un liant social, ne vor ajuta în schimbul de idei. Nu suntem însă singurele animale care zâmbesc.

APROAPE O FANTĂ BRANHIALĂ

Dat fiind că arcurile branhiale au suferit atât de multe transformări, s-ar putea crede că pe suprafața capului şi a gâtului tău de acum nu mai există nici o urmă evidentă a acestor structuri embrionare. Ce-i drept, arcurile în sine (în afară de al cincilea, care apare pentru scurtă vreme la embrionul uman) au devenit părți din maxilar, mandibulă şi gât, iar şanțurile dintre ele s-au netezit şi au dispărut. Dar nu cu totul. Unul a rămas, deşi arată mai degrabă ca un orificiu adânc decât ca un şanț: canalul auditiv.

Canalul auditiv, cunoscut în jargonul anatomic sub numele de meatus auditor extern, este un vestigiu al primului şanț branhial, aflat între primul şi al doilea arc branhial. La peşti, fiecare şanț branhial creşte spre interior şi se întâlneşte cu punga branhială corespunzătoare, care creşte spre exterior pornind de la faringele în dezvoltare, până când cele două se întâlnesc şi se formează o fantă branhială. Apa care intră prin gura peştelui se scurge afară prin branhii, oxigenând sângele din capilarele acestora, alimentate de artera arcului branhial.

Animalele care respiră numai aer nu au nevoie de fante branhiale, dar au nevoie de urechi – pentru a transforma undele sonore din aer în vibrații din fluidul aflat în interiorul cohleei. În forma ta embrionară, primul şanț branhial şi prima pungă branhială, de o parte şi de alta a capului care începe să se formeze, s-au adâncit una spre cealaltă, părând să formeze o cavitate, cum s-ar întâmpla la un embrion de peşte. Dar, deşi cele două tuneluri se apropie, rămâne între ele o membrană separatoare, anume timpanul.

Pe interior, punga branhială se transformă în cavitatea umplută cu aer a urechii mijlocii, care rămâne legată de faringe printr-un tub îngust: tuba auditivă, sau trompa lui Eustachio. Tubul acesta este important, fiindcă îți permite să egalizezi presiunea din urechea mijlocie cu cea din jurul capului şi din interiorul canalului auditiv. Dacă nu ai putea să faci acest lucru, atunci când ai fi expus la presiune scăzută – de exemplu sus, pe un munte, sau în timpul zborului cu avionul –, timpanul ți s-ar bomba în afară primejdios de mult, din cauza presiunii relativ mai mari din urechea mijlocie. Trompa lui Eustachio este atât de îngustă, încât rămâne practic închisă până când o presiune relativ ridicată în urechea mijlocie împinge prin ea un fir de aer şi „îți pocnesc urechile“. Dacă nu pocnesc singure, poți profita de faptul că, până şi la adulți, urechea şi mandibula comunică strâns. Dacă deschizi gura ca şi cum ai căsca, vei ajuta tuba auditivă să se deschidă. Odată ce s-a deschis, poate fi de ajutor şi mişcarea de înghițire – care presupune contracția muşchilor faringieni.

Celelalte şanțuri branhiale aflate sub primul şanț, care formează canalul auditiv, ar trebui să dispară complet. Dar, în dezvoltarea embrionului, multe lucruri pot evolua greşit: uneori structurile nu se formează, sau sunt prea mari, sau trăsăturile embrionare care ar trebui să dispară mai târziu se perpetuează. De obicei, al doilea arc branhial creşte în jos şi elimină al doilea, al treilea şi al patrulea şanț;

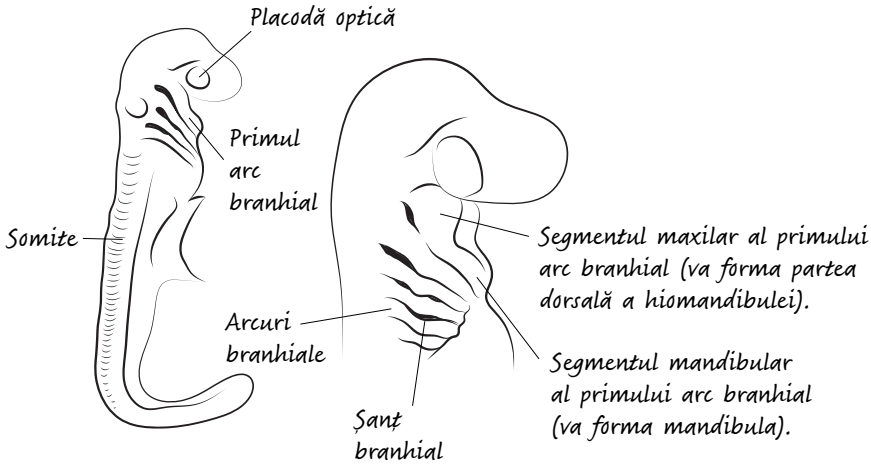
altminteri, vei avea un tub îngust, numit fistulă branhială, care va duce la formarea unui chist în partea laterală a gâtului. Se poate spune în astfel de cazuri că şanțurile branhiale reconfigurate au uitat că *nu* trebuie să devină fante branhiale.

VON BAER ŞI GENETICA

Arcurile branhiale sunt una dintre cele mai bune dovezi că Haeckel se înşela, iar von Baer avea dreptate. Embrionul uman nu seamănă deloc cu un peşte adult, dar seamănă cu un *embrion* de peşte, cel puțin în regiunea gâtului. Unii ezită să accepte acest lucru, ca să nu fie bănuiți că ar crede în teoria recapitulării. Autorii unui manual de embriologie pentru studenții de astăzi deschid capitolul despre *Cap şi gât* explicând motivul pentru care în continuare vor folosi termenul „arcuri faringiene", şi nu „arcuri branhiale" cu privire la embrionul uman. Autorii manualului cad astfel tocmai în capcana recapitulării – comit eroarea lui Haeckel de a echivala structurile embrionare ale „animalelor superioare" cu anatomia *adultă* a formelor „inferioare":

> „Trăsătura cea mai distinctivă a dezvoltării capului şi a gâtului este prezența arcurilor faringiene (termenul vechi pentru aceste structuri este acela de «arcuri branhiale», deoarece seamănă oarecum cu branhiile unui peşte)."

Dar nu ar trebui să vorbim despre branhiile unui peşte *adult*, ci despre arcurile branhiale, precursoarele branhiilor la *embrionul* de peşte. Dacă facem o comparație între embrionul uman şi cel de rechin, este evident că arcurile embrionului uman seamănă mai mult decât „oarecum" cu arcurile branhiale ale embrionului de peşte; de fapt, seamănă izbitor de mult. Similaritatea aceasta este importantă, fiindcă cele două structuri chiar sunt omoloage – arată la fel, fiindcă *sunt* la fel într-un sens foarte real: sunt moştenite de la un strămoş comun. Asemănarea nu e doar la suprafață. După cum am văzut, putem urmări țesuturile (cartilajele, muşchii, nervii şi vasele de sânge) care se dezvoltă în fiecare arc al embrionului uman, pentru a înțelege cum au apărut. La o analiză mai detaliată, se pot identifica genele care se activează pentru a crea modelul segmentat al arcurilor branhiale.


Placodă optică
Primul arc branhial
Somite
Arcuri branhiale
Șanț branhial
Segmentul maxilar al primului arc branhial (va forma partea dorsală a hiomandibulei).
Segmentul mandibular al primului arc branhial (va forma mandibula).

Arcurile branhiale la rechinul-pisică

Cartilajele din arcurile branhiale se trag din celulele din creasta neurală, care au apărut lângă partea din tubul neural din care se formează rombencefalul. Celulele acestea se revarsă în arcurile branhiale şi, odată ajunse acolo, reacționează la semnalele chimice produse de endodermul care îmbracă arcurile la interior. Semnalele le spun celulelor să devină țesut osos pentru schelet. Dar *ce* țesut anume din schelet vor deveni depinde de cum se exprimă *în ele* genele generatoare de tipare – gene care s-au activat înainte ca celulele să plece din rombencefal. Genele acestea au o istorie evolutivă foarte lungă. Se numesc gene *Hox* şi controlează identitatea segmentelor anatomice. Sunt generatoarele de tipare nu doar pentru arcurile branhiale, ci şi pentru toate segmentele embrionului, de la gât la coadă. Dar, dacă vrem să înțelegem genele *Hox* la om, va trebui să călătorim cu vreo 800 de milioane de ani înapoi în timp, cu mult înainte să evolueze primul peşte, până la un strămoş pe care îl avem în comun cu nevertebratele: umila musculiță de oțet.

COLOANE VERTEBRALE ŞI SEGMENTE

TIPARUL VIEȚII ŞI EVOLUȚIA COLOANEI ÎN FORMĂ DE S

„Cele mai multe specii îşi fac singure evoluția, descurcându-se din mers, adică în felul pe care l-a vrut Natura. Şi toate acestea sunt foarte fireşti şi organice şi în concordanță cu ciclurile misterioase ale cosmosului, care crede că nimic nu se compară cu milioane de ani de încercări şi erori foarte frustrante pentru a da speciilor fibră morală şi, în unele cazuri, coloană vertebrală.“[1]

TERRY PRATCHETT

1. Terry Pratchett, *Domnul cu coasa*, trad. de Bogdan Mihăilescu, RAO, Bucureşti, 2009, p. 13 (n. tr.).

MUSCULIȚELE DE OȚET ŞI ORIGINEA COLOANEI VERTEBRALE

În fiecare vară, bolul cu fructe de la mine din bucătărie pare să găzduiască un mic roi de musculițe. Probabil ouăle lor ajung acolo într-un mănunchi de banane, după care se fac comode şi încep să se reproducă. Nu m-a deranjat niciodată prezența lor: nu se adună atât de multe, încât să le consider dăunătoare („daunele“ pe care le produc sunt, în cel mai rău caz, o uşoară iritare sau un fâlfâit de aripi); din contră, chiar m-am ataşat de insectele acestea mărunte.

Când am început cursul avansat de biologie, musculițele au devenit un fel de animale de companie. Învățam despre genetică în laborator, încrucişând diverse soiuri de musculițe de oțet: musculițe de oțet cu aripi lungi; musculițe de oțet cu aripi scurte; musculițe de oțet cu ochi albi şi musculițe de oțet cu ochi roşii. Unele aveau corpul cafeniu, altele erau galbene. Sunt creaturi ideale pentru studiul legăturilor dintre gene şi caracteristicile care se manifestă în mod vizibil – adică ceea ce numim „fenotip“.

Musculițele de oțet sunt celebre pentru contribuția lor la ştiința geneticii. Totul a început în zorii secolului XX, într-un laborator de la Columbia University. Se pare că, în 1909, biologul evoluționist Thomas Hunt Morgan se săturase să tot încerce să afle cum se regenerează râmele şi cum se dezvoltă broaştele, astfel că s-a reorientat spre studiul eredității, folosind drept model umila musculiță de oțet. Morgan a produs musculițe-mutant, iar unele mutații s-au dovedit a fi transmisibile genetic, generând tipare de transmitere mendeliene – inclusiv rata clasică de 3:1 a trăsăturilor fenotipice dominante față de cele recesive. Cu câteva decenii înainte să se determine structura moleculei care codifică genele, studiile lui Morgan au confirmat

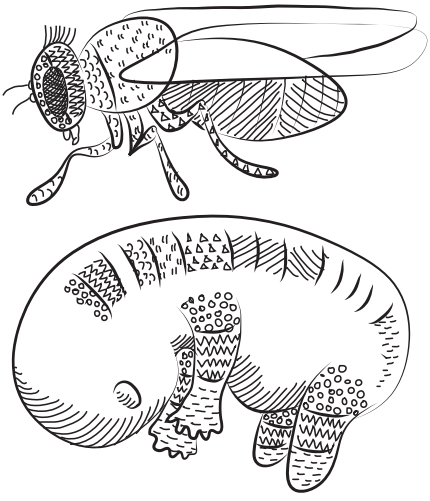
ipoteza conform căreia cromozomii au un rol în ereditate, iar genele trebuie să se alinieze pe cromozomi. Descoperirea i-a adus un premiu Nobel în 1933; viitorul musculiței de oțet în laborator era astfel asigurat.

În anii 1970, geneticienii au început să analizeze genele, la început într-un mod anevoios, prin cromatografie. Au apărut apoi tehnologii precum aceea în care „cărămizile" ADN-ului sunt marcate fluorescent, iar procesul analizei ADN-ului a devenit automat. Am făcut mai multe filmări în laboratoare de secvențiere a ADN-ului, iar producătorii de televiziune au fost de fiecare dată dezamăgiți de cât de plictisitor e procesul din punct de vedere vizual: laboratoarele sunt pline de cutii albe aşezate pe nişte bănci, iar magia secvențierii se produce înăuntrul lor, ascunsă şi neajutată de vreo mână de om.

Când i-au fost analizate genele, musculița de oțet a dezvăluit un secret genetic cu adevărat uluitor. Pe geneticieni îi intriga de mult un grup anume de musculițe mutante: cele la care părțile corpului se schimbau între ele; uneori, segmentelor abdominale le luau locul segmente toracice, sau musculița avea două rânduri de aripi, sau îi creştea din cap un picior, acolo unde trebuia să fie o antenă. La sfârşitul secolului al XIX-lea, embriologul englez William Bateson a inventat un termen care să descrie transformarea unei părți a corpului într-o altă parte a corpului: homeoză. Geneticienii au identificat mutațiile ADN-ului care dădeau naştere musculițelor acestora stranii, şi astfel au găsit „genele homeotice", care păreau să controleze tiparul segmentelor la embrionul normal de muscă. În experimentele în care s-au eliminat din genom toate genele homeotice, rezultatul a fost o larvă cu aspect ciudat, cu un şir de segmente identice. Poziția acestor gene în ADN-ul musculiței de oțet avea ceva foarte ciudat. În timp ce majoritatea genelor par să fie risipite întâmplător prin genom, astfel că şi cele care lucrează în strânsă cooperare se pot afla pe cromozomi complet diferiți, genele homeotice erau aliniate pe un singur cromozom – în aceeaşi ordine ca ordinea segmentelor corpului la muscă, de la cap la abdomen.

Genele homeotice ne mai rezervau o surpriză: fiecare conținea acelaşi segment de ADN scurt, cu vreo 180 de perechi de bază. Secvenței i s-a spus „*homeobox*"[1], iar genelor care o conțineau – „gene

1. „Homeocutie" (en.) (n. tr.).



Tiparul segmentelor la musculița de oțet și la embrionul uman în dezvoltare este controlat de gene Hox similare.

homeobox“ sau, pe scurt, *Hox*. Genele *Hox* sunt „panoul de control principal“ care determină activitatea multor alte gene. Secvența „*homeobox*“ este esențială în acest rol organizatoric – codifică un fragment de proteină care se poate atașa de ADN.

Cu adevărat surprinzător la genele *Hox* este că nu controlează doar modul de generare a tiparului la embrionul musculiței de oțet. Se află în genomul tuturor insectelor şi al tuturor artropodelor. Apar şi la viermi. De fapt, fac parte din compoziția genetică a oricărui animal cu corpul segmentat – inclusiv din cea a vertebratelor. Aşadar, genele *Hox* sunt foarte vechi: ultimul strămoş pe care îl avem în comun cu musculița de oțet a trăit acum circa 800 de milioane de ani. Chiar dacă musculițele de oțet sunt verii noştri evolutivi foarte îndepărtați, tiparul esențial al corpului nostru a fost dictat în embrion tot de genele *Hox*.

Musculițele de oțet şi alte insecte nu au decât un set de gene *Hox* – opt, aliniate. Vechiul nostru prieten, amfioxul, are un singur grup de 14 gene *Hox*, dar la diverse grupuri de vertebrate au apărut mai multe, prin duplicarea unor segmente de genom. Mamiferele au patru grupuri de gene *Hox*, fiecare pe alt cromozom.

Vechimea genelor *Hox* a ieşit la lumină în 1986, când o echipă de cercetători a decodificat primul grup de astfel de gene la o vertebrată mare şi a aflat că ordinea genelor corespundea ordinii segmentelor din corpul animalului, la fel ca la musculița de oțet. Unul dintre cercetători a demonstrat mai târziu similaritatea dintre genele *Hox* la vertebrate şi la nevertebrate – fapt care a întărit presupunerea că, la ambele, genele *Hox* erau moştenite de la un strămoş comun foarte îndepărtat. În anii 1990, acelaşi cercetător a arătat că de tiparul membrelor erau răspunzătoare nişte gene asemănătoare. Cercetătorul în cauză era biologul elvețian Denis Duboule, pe care, în ianuarie 2013, l-am vizitat la casa lui din Geneva.

Ne-am întâlnit în biroul lui, care ocupa colțul unei clădiri modeste: blocul Ştiințe III al Universității din Geneva. Prin ferestrele panoramice vedeam centrul oraşului, mărginit într-o parte de un versant înzăpezit. Peisajul cu clădiri joase (a căror înălțime e reglementată prin consensul cetățenilor) era întrerupt de vârful îndrăzneț al turnului de televiziune, cu fațada lui de sticlă.

Pe o masă mare se întindea o selecție magnifică de *objets de science*, printre care un schelet de oposum (pe care ai fi putut să-l confunzi cu un schelet de maimuță, dacă n-ar fi fost lipsa cercului osos complet în jurul orbitei şi osul care iese din pelvis), un schelet de şarpe, conservat într-un bol de sticlă, eprubete cu embrioni minusculi de şoarece (scheletele lor aveau pete roşii, de la alizarină, care marcau oasele, şi bleu-turcoaz, care marcau cartilajele), un schelet de broască montat şi tot felul de lucruri în borcane înalte cu formol, printre care un peşte şi un fel de şopârlă.

Pe un perete se afla o sculptură extraordinară, ale cărei componente le-am recunoscut imediat. Cred că puțini sunt biologii care n-au primit, fără să-l fi cerut, un volum din notoriul *Atlas of Creation* al lui Harun Yahya. Am primit şi eu unul pe când lucram la Bristol University. E o carte masivă, bogat ilustrată, şi transmite mesajul creaționist că evoluția e o minciună: mai precis, că dacă în ziua de azi trăiesc animale care seamănă cu fosilele înseamnă că Darwin s-a înşelat. Cartea porneşte de la înțelegerea intenționat greşită a evoluției prin selecție naturală, dar, într-un fel, nu poți să nu fii impresionat de calitatea volumului (a tipăriturii şi a legăturii) şi oarecum tulburat de gândul că producția şi distribuția ei au costat enorm. Eu mi-am folo-

sit exemplarul pe post de prespapier câteva săptămâni bune, apoi am început să-l folosesc ca sprijin pentru picioare şi, în cele din urmă, l-am încredinţat recipientului pentru reciclat hârtie.

Denis îşi folosise mult mai ingenios exemplarele din atlasul de tristă amintire. Avea pe perete rămăşiţele câtorva, cusute cu grijă în formă de triunghiuri şi trapeze, cu copertele *strânse cu şuruburi* (metodă foarte franţuzească, spunea Denis, de a desfiinţa o carte), şi atârnate de sârme. Modul lui de a recicla era cu siguranţă mai plin de imaginaţie. Şi oare nu e reciclarea în sine o formă de evoluţie, însemnând, în cazul acesta, transformarea unor idei învechite într-o formă de artă?

Denis studia de decenii genele *Hox*, generatoare de tipare sau, cum le spunea el, arhitecte ale corpului. El a descris modul secvenţial în care funcţionau. Genele *Hox* nu se activează câte una pentru fiecare segment sau grup de segmente, ci cumulativ: cu fiecare segment se activează mai multe gene. Aşa au fost determinate segmentele musculiţei de oţet şi tot aşa au fost determinate şi segmentele din embrionul tău. Locul cel mai evident în care se pot căuta dovezi ale acestei segmentări la un om adult este coloana vertebrală. Genele *Hox* creează diferenţele între părţile coloanei – cervicală, toracică, lombară şi sacrală – şi deosebirile dintre o vertebră şi următoarea vertebră din aceeaşi secţiune.

Într-un colţ al încăperii se afla un recipient de sticlă; Denis a ridicat capacul şi a scos din el un piton femelă (fără nume). Era frumoasă: netedă şi lungă – avea în jur de 70 cm lungime şi avea mult mai multe vertebre decât mine, dar am fost uimită să aflu că avea acelaşi număr de gene *Hox*: 39.

— Mi se pare extraordinar că are acelaşi număr de gene ca mine, am spus eu. Şi totuşi are atât de multe vertebre în plus. Cum e posibil?

— Semnalul pentru sfârşitul corpului – mi-a explicat el –, adică locul unde se află cloaca (capătul intestinului) la şarpe, e întârziat, astfel că şarpele formează segment după segment (în jur de 250) până când, în cele din urmă, genele *Hox* spun „stop“; după aceea şarpele nu mai poate forma decât coada.

Mai există o diferenţă foarte evidentă între oameni şi şerpi în ceea ce priveşte alcătuirea fundamentală a corpului. Ca majoritatea tetrapodelor (amfibienii, reptilele, păsările, mamiferele), şi eu am membre.

„Aceleaşi gene care controlează tiparul de segmentare în corp codifică şi membrele“, a spus Denis. „Iar semnalul care spune stop la capătul degetelor este acelaşi semnal care pune capăt corpului.“

Am vorbit despre complexitatea acestui program de dezvoltare; despre faptul că o singură genă poate afecta părți foarte diferite ale embrionului, astfel că părțile individuale nu se pot modifica independent. Asupra morfologiei se impun anumite constrângeri legate de coeziunea şi coerența întregii structuri. Dar, pe lângă constrângerile acestea structurale şi materiale, există şi constrângeri la nivel genetic, fiindcă nici o genă nu face un singur lucru, într-un singur loc şi doar într-un moment anume.

„Faptul că, în fond, nu avem foarte multe gene a fost una dintre marile surprize pe care le-a produs decodificarea genomului uman. Nu avem mai multe gene decât o muscă“, a spus Denis. „A fost un şoc şi pentru pediatri, de exemplu, când au aflat că părți separate ale corpului pot fi controlate de aceeaşi genă. Aşadar, dacă există o problemă la degetele de la mâini sau de la picioare, trebuie cercetate şi organele genitale, fiindcă e probabil ca eroarea să se manifeste şi acolo.“

Bănuiam că, deşi erau surprinşi într-o oarecare măsură, unii medici se aşteptau deja ca o singură genă să afecteze dezvoltarea mai multor părți ale corpului. În fond, se ştia de secole că unele sindroame ereditare presupun defecte în părți ale corpului aparent fără legătură. Acum însă genetica oferea posibilitatea de a identifica genele specifice care cauzau respectivele seturi de defecte.

Ne-am uitat la fetuşii minusculi de şoarece din eprubete, translucizi şi cu scheletul colorat în roşu şi albastru. Aşa identificau Denis şi colegii lui genele care controlau diverse aspecte ale dezvoltării: „Munca experimentală e grea“, a spus el. „Durează doi ani să creezi schimbarea genetică dorită şi să crească embrionul de şoarece ca să vezi efectul schimbării genei. Puțini studenți sunt dispuşi să aştepte rezultatele atâta timp.“

Dar munca de durată dăduse roade: embrionii rezultați arătau prin defectele lor care ar fi fost rolul genei normale în dezvoltarea lor. Într-un sistem atât de bine conservat cum este cel al genelor *Hox*, este foarte probabil ca dezvoltarea oamenilor să fie similară cu cea a şoarecilor. Biologi precum Denis începeau să înțeleagă programul

care creează structura corpului la vertebrate şi, implicit, modurile în care acesta poate greşi.

Thomas Hunt Morgan şi-a început cariera ştiinţifică studiind dezvoltarea şi regenerarea, analizând posibilităţile de generare a tiparelor la embrioni şi la membrele care se regenerează, iar mai târziu s-a reorientat spre problema eredităţii. S-ar fi bucurat că organismul-model pe care şi l-a ales, musculiţa de oţet, a avut un impact atât de mare asupra domeniului geneticii şi că avea să ajute la rezolvarea enigmei care-l intrigase atât de mult, dezvăluind legăturile dintre gene şi embriologie.

DEZVOLTAREA VERTEBRELOR ÎN EMBRION

Acum ne întoarcem la tine, pe când erai doar un mic embrion, la doar patru săptămâni după concepţie, când nu aveai nici măcar un centimetru lungime. Ai caracteristici de cordată: notocord, tub neural gol pe dinăuntru şi coadă. Ai şi arcuri branhiale, ca orice embrion de vertebrată. Pe laturile capului tău minuscul, placodele groase şi rotunde, care vor forma cristalinul fiecărui ochi, încep să se scufunde, iar de-a lungul spatelui ai două şiruri paralele de umflături, ca două şiraguri de mărgele.

Aceste protuberanţe au apărut ca reacţie la nişte semnale interne, produse de celulele aflate chiar în interiorul lor. Mai târziu însă încep să vorbească cu ele şi alte ţesuturi, pe limba semnalelor chimice (adică a morfogenilor), fireşte. În timp ce morfogenii din ţesuturile înconjurătoare se răspândesc prin umflătură, celulele dinăuntrul ei încep să se diferenţieze. La prevertebratele ca *Haikouella* şi la amfiocşi, notocordul rămâne prezent pentru a întări axa corpului, dar la vertebrate, aşa cum suntem noi, îi ia locul un şir de oase cu articulaţii flexibile, care formează coloana vertebrală. Într-un fel, notocordul contribuie la propria dispariţie, fiindcă e unul dintre ţesuturile ce emit semnalele care le transmit celulelor din protuberanţe (pe care de-acum e cazul să le numim somite) să formeze părţi ale scheletului – inclusiv vertebrele. Alte semnale, care provin din tubul neural, le transmit celulelor din partea superioară şi exterioară a somitelor să devină precursoare ale dermei (stratul inferior al pielii, de sub epidermă) şi ale muşchilor.

Tot ce derivă dintr-o somită este deservit de un singur nerv spinal. Oriunde ar ajunge, țesuturile „îşi amintesc“ originea segmentală prin conectarea lor la nervi. Se întâmplă ca muşchii să migreze departe de segmentele lor originale, dar *tot* îşi mențin legătura cu nervul inițial. De exemplu, unele celule musculare din a cincea şi a şasea somită cervicală migrează până în mugurii membrelor superioare, unde vor forma un muşchi numit biceps brahial (doar „biceps“ pentru prieteni). Aşadar, bicepşii brațelor sunt deserviți de un nerv pe care-l putem urmări până la gât, unde ies din coloană nervii dintr-a cincea şi a şasea vertebră cervicală.

La fiecare somită, celulele componentei scheletice interioare migrează spre mijlocul embrionului, unde se întâlnesc cu celule din somita din partea opusă, deasupra tubului neural şi în jurul notocordului. În cele din urmă, celulele se condensează într-un model cartilaginos al vertebrei. De fapt, fiecare vertebră se formează prin fuzionarea jumătății inferioare a unei somite cu jumătatea superioară a somitei de dedesubt. Este un fapt important: de aceea nervii spinali, care le părăsesc la un nivel situat exact în mijlocul somitei, vor ieşi în afară între vertebre. Tot de aceea, muşchii care se dezvoltă în partea exterioară a fiecărei somite vor forma o punte între vertebre – aşadar, vor putea mişca coloana.

Ca mamă, poți lua măsuri ca să te asiguri că dezvoltarea coloanei vertebrale a copilului tău începe bine. Celulele din somite care se adună deasupra tubului neural vor forma în cele din urmă arcul vertebral, care cuprinde şi protejează măduva. Dacă celulele nu se întâlnesc la mijloc, arcul vertebral nu se va forma corect, iar măduva va rămâne expusă. Afecțiunea se numeşte *spina bifida* (literal, „coloană despicată“). În majoritatea cazurilor uşoare, vertebra este despicată în partea dorsală, dar măduva spinării şi pielea de deasupra sunt intacte şi nu există probleme cu nervii spinali. În cazurile mai grave, țesutul nervos din măduvă este expus pe suprafața din mijlocul spatelui bebeluşului. Astfel, măduva spinării este expusă la infecții; pot apărea, de asemenea, probleme grave la sistemul nervos. Chiar dacă defectul se poate corecta chirurgical, picioarele nou-născutului vor fi probabil paralizate.

Unul dintre factorii care favorizează *spina bifida* este nivelul scăzut de acid folic din organismul mamei. Acidul folic este o vitamină

esențială, care joacă un rol zilnic în sinteza ADN-ului şi este important pentru formarea tubului neural la embrion. Nu ne putem sintetiza singuri acidul folic, trebuie să ni-l obținem din alimentație. Se găseşte din abundență în legumele cu frunze verzi (de unde îi vine şi numele: „folia“ înseamnă „frunză“ în latină), în mazăre şi fasole, în gălbenuşul de ou şi în semințele de floarea-soarelui. În țările în care femeile sunt încurajate să ia suplimente de acid folic, rata defectelor tubului neural a scăzut semnificativ. Unele cereale şi tipuri de pâine au şi ele adaos de acid folic. Studiile estimează că, de la introducerea cerealelor cu adaos de acid folic în SUA în 1998, rata defectelor tubului neural, ca *spina bifida*, s-a redus la jumătate. Se estimează chiar că până la 70% dintre aceste defecte congenitale se pot preveni dacă mamele iau suplimente de acid folic la începutul sarcinii. De aceea este important ca toate femeile gravide (şi chiar toate femeile care vor să conceapă un copil) să aibă grijă să consume suficient acid folic; cele mai eficiente sunt suplimentele de acid folic, dimpreună cu un regim alimentar sănătos şi echilibrat.

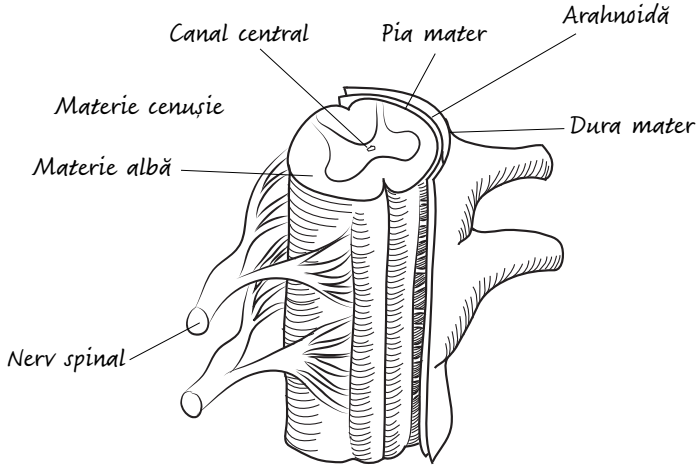
Deşi majoritatea vertebrelor au o formă tipică foarte generală, există diferențe între ele. Identitatea vertebrelor din coloană este determinată extrem de devreme în cursul dezvoltării embrionare, când se activează genele *Hox* în celulele de pe axa embrionului, înainte chiar să înceapă formarea somitelor. Tiparul genelor *Hox* activate în fiecare segment îi spune osului care se formează din sclerotom ce fel de vertebră să devină: cervicală, toracică (de care se prind coastele), lombară, sacrală (de care se prinde pelvisul) sau caudală – pentru coccis.

ANATOMIA COLOANEI VERTEBRALE ŞI A MĂDUVEI SPINĂRII

Vertebrele au trăsături comune, trăsături specifice fiecărei regiuni (ca cea cervicală sau cea lombară) şi trăsături unice, aparținând unor vertebre anume. Trăsăturile comune tuturor vertebrelor reflectă cele două funcții principale ale acestora: de a susține greutatea corpului şi de a proteja măduva spinării. Partea care sprijină greutatea este corpul vertebrei, în spatele căruia se află un arc care conține măduva. Din el ies mai multe proeminențe osoase (numite procese), care

servesc drept puncte de prindere de care să tragă mușchii. În partea dorsală a coloanei, arcurile se suprapun, ca zalele unei armuri, pentru a proteja măduva. E greu să strecori ceva în spațiul dintre ele, dar exact asta trebuie să facă anestezistul la o anestezie epidurală.

Când pacienta stă întinsă pe o parte, ghemuită în poziție fetală sau aşezată în capul oaselor pe pat şi aplecată în față, spațiile dintre arcurile osoase ajung la deschiderea lor maximă; deşi spațiul nu e mare, dă voie acului să treacă. Teaca măduvei spinării este la fel ca învelişul creierului: trei straturi de meninge, începând cu *pia mater*, care este lipită de măduvă, continuând cu arahnoida, delicată ca o pânză de păianjen, şi terminând cu învelişul rezistent şi gros format de *dura mater*. Spațiul dintre *dura mater* şi arcul vertebral conține grăsime şi multe vene. Acesta este spațiul epidural, în care intră acul anestezistului. (Epidural înseamnă „care înconjoară dura“.) Lichidul anestezic injectat aici afectează nervii spinali care ies din măduvă. Măduva spinării, ca şi creierul, înoată în lichidul cefalorahidian (LCR) care umple spațiul de sub aranhoidă. În cazul anesteziei rahidiene, acul intră mai adânc, prin *dura mater* şi arahnoidă, în spațiul acesta, astfel încât se anesteziază măduva în sine. Tot aici trebuie să ajungă acul pentru a extrage o probă de LCR la o puncție lombară, dar aceasta se face întotdeauna mai jos de capătul măduvei spinării. La



Straturile de meninge din jurul măduvei spinării

naştere, măduva spinării bebeluşilor are aproape aceeaşi lungime precum coloana care o conține, dar coloana vertebrală creşte mai rapid în lungime, până când măduva se îngustează şi se termină, în partea superioară a coloanei lombare, la acelaşi nivel cu discul intervertebral dintre prima şi a doua vertebră lombară. Sub măduva spinării se află un „sac“ lunguieț format din *dura mater* şi arahnoidă, care conține LCR şi rădăcinile nervilor spinali lombari şi sacrali. Din fericire, acestea, în general, sunt împinse la o parte şi nu au de suferit când se introduce acul în spațiul subarahnoidian pentru prelevarea unei mostre de LCR.

Majoritatea vertebrelor pot fi considerate „variațiuni pe aceeaşi temă“ – fiecare are un corp, un arc vertebral şi câteva procese –, dar diferă puțin între ele. Când analizez în laborator un schelet dintr-un sit arheologic, mai întâi scot oasele din cutie şi le pun în ordine pe o masă lungă. De obicei, încep cu cele de pe axul central al corpului: craniul şi coloana. Cu craniul e destul de uşor (dacă nu cumva a fost sfărâmat în multe bucăți), dar şi să aliniez cele aproximativ 33 de vertebre ale coloanei este mai uşor decât s-ar crede. În primul rând, mă ajută faptul că, cu cât se află mai jos, cu atât vertebra este mai mare – fiecare suportă o greutate mai mare decât cea de deasupra. Există însă şi alte diferențe importante între vertebrele din regiunile cervicală (a gâtului), toracică, lombară, sacrală şi coccigiană.

Vertebra cervicală tipică are corpul mic, arcul vertebral mare, partea dorsală despicată şi câte un orificiu în fiecare proces transversal (proeminențele laterale). Prin orificiul acesta trece artera vertebrală, care urcă spre ceafă, apoi intră în craniu şi se uneşte cu arterele carotide interne pentru a aduce sânge oxigenat la creier.

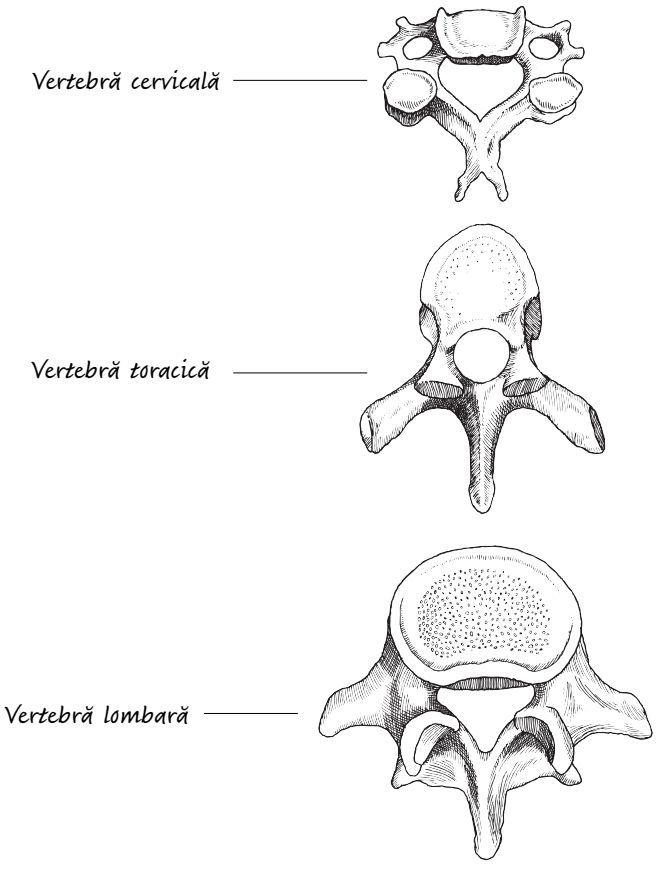
Două vertebre cervicale sunt însă foarte diferite de celelalte: e vorba de primele două vertebre din partea superioară a coloanei. Principalul motiv pentru care acestea arată altfel ține de câteva articulații foarte importante pentru mişcările din cap prin care comunicăm. Cea de sus se numeşte „atlas“ (după titanul despre care grecii antici credeau că ține cerul pe umeri) şi susține craniul. Atlasul are două fațete mari, curbate, care se articulează cu partea inferioară a osului occipital, de o parte şi de alta a găurii occipitale mari, unde iese din craniu trunchiul cerebral. Articulațiile acestea îi permit craniului să se legene înainte şi înapoi pe coloană: ne permit să facem mişcarea

aprobatoare din cap. Atlasul este o vertebră cum nu se poate mai ciudată: este singura fără corp. Acolo unde ar trebui să fie corpul atlasului, se ridică un dinte osos al celei de-a doua vertebre a gâtului, care are şi ea un nume: axis. Dintele axisului se articulează cu arcul din partea din față a atlasului, permițându-i acestuia (şi craniului de deasupra) să se învârtă în lateral: e articulația care ne permite să dăm din cap a negare.

Mai mult, în zona cervicală fiecare vertebră se poate deplasa în raport cu următoarea. Putem îndoi gâtul în față, putem lăsa bărbia în piept, putem lăsa capul pe spate ca să privim cerul (sau tavanul) şi îl putem apleca într-o parte şi în cealaltă. Combinând toate aceste mişcări, putem face o mişcare de rotire a capului în jurul coloanei.

Vertebrele toracice au ca particularitate punctele de prindere ale coastelor. Au mici fațete pe laturile corpului şi la capetele proceselor transversale. Vertebrele lombare sunt îndesate, au corpul mare în comparație cu mărimea arcului vertebral, iar proeminențele lor sunt plăci osoase dreptunghiulare. Coloana are o mobilitate limitată în partea toracică, fixată de coaste, dar devine mai liberă în partea lombară. Mai jos, spre capătul ei, în zona sacrală şi coccigiană, mobilitatea este aproape de zero.

Anatomia noastră, inclusiv coloana vertebrală, reflectă moştenirea evolutivă şi înrudirea noastră cu alte animale. Dacă ne comparăm cu rude îndepărtate, vom găsi asemănări importante. Ca vertebrate, avem coloană, trăsătură fundamentală pe care o au şi peştii. Funcția coloanei rămâne aceeaşi la toate vertebratele: aceea de a asigura o structură de sprijin puternică şi flexibilă pe lungimea corpului şi de a proteja prețioasa măduvă a spinării. Dacă ne comparăm cu alte animale terestre vertebrate (cunoscute în limbajul de specialitate sub numele de „tetrapode“), vom vedea că avem în comun coloana, cu diferitele ei secțiuni: cervicală, toracică, lombară, sacrală şi caudală – deşi, ca la şarpele lui Denis Duboule, numărul de vertebre poate varia considerabil. Dacă ne restrângem spectrul de interes şi ne concentrăm asupra mamiferelor, verii noştri mai apropiați, numărul de vertebre se dovedeşte a fi aproape neschimbat la întregul grup. Cea mai mare variație o prezintă coada. Unele animale (de pildă noi) au doar câteva vertebre caudale.



Vertebrele din regiunile cervicală, toracică și lombară ale coloanei sunt foarte diferite între ele.

Delfinul lui Dall (*Phocoenoides dalli*), care înoată foarte repede, ar lua probabil locul întâi, fiindcă are cele mai multe vertebre caudale dintre toate mamiferele – până la 49. Regiunea cel mai puțin variabilă este gâtul: toate mamiferele, chiar şi delfinii şi girafele, au şapte vertebre cervicale.

În ciuda unor mici variații la granițele dintre regiuni (o vertebră cervicală capătă o coastă în plus, o vertebră lombară se ataşează de osul sacru), noi, oamenii, avem de obicei şapte vertebre cervicale, douăsprezece vertebre toracice (cu douăsprezece perechi de coaste),

cinci vertebre lombare, cinci vertebre sacrale şi între trei şi cinci vertebre caudale mici, uneori sudate unele de altele, care formează „noada“, sau coccisul. Ultimele câteva vertebre din coloană au fost botezate după cuvântul din greacă pentru „cuc“, fiindcă ar semăna puțin cu ciocul unui cuc. Se spune uneori că sunt vestigiale, fiind o simplă rămăşiță a cozii pe care o aveau strămoşii noştri, de care însă noi ne-am putea dispensa. Dar, crede-mă, n-ai vrea să-ți lipsească coccisul. Nu e cine ştie ce coadă, dar formează un punct de prindere foarte important pentru ligamente şi muşchi, inclusiv pentru muşchiul levator anal, cunoscut şi sub numele de planşeu pelvian. Fără coccis, nu ai avea cum să-ți împiedici conținutul bazinului să nu cadă pe jos.

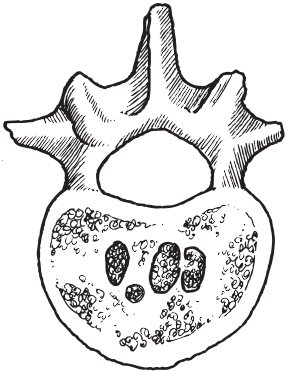
DISCURI DEPLASATE ŞI FAȚETE DEFECTUOASE

Vertebrele de deasupra osului sacru sunt unite printr-o articulație de tip special, care rezistă la comprimare şi absoarbe şocurile, dar, în acelaşi timp, permite mişcarea: discul intervertebral.

În timpul dezvoltării coloanei vertebrale în embrion, celulele din „paranteza“ dintre o vertebră şi următoarea formează fibrocartilaj, creând o articulație flexibilă – discul intervertebral. Notocordul dispare acolo unde se formează corpul vertebrelor, dar celulele din notocord rămân o vreme între vertebre, în nucleul cărnos al discurilor intervertebrale. Acolo pot juca mai multe roluri importante: sunt celule stem nediferențiate, aşa că se pot divide pentru a înlocui celulele din discul intervertebral. Pot, de asemenea, să regleze funcționarea altor celule cartilaginoase din disc. Dar se pare că celulele notocordului dispar treptat din discul intervertebral odată cu înaintarea în vârstă; acesta este, poate, unul din motivele pentru care discurile tind să se deterioreze la vârste mai înaintate.

E foarte probabil ca, pe măsură ce degenerează, discurile să-ți creeze probleme. Discurile intervertebrale dintr-o coloană vertebrală tânără îşi fac datoria foarte bine: opun rezistență şi acționează ca zone-tampon între vertebre. Centrul gelatinos, care la discurile tinere este de consistența pastei de dinți, contribuie la distribuirea greutății spre capetele vertebrei şi este conținut de un inel dur, fibros. Uneori însă, centrul gelatinos se poate hernia, ieşind prin fisurile din inelul fibros şi ducând la ceea ce se cheamă, în general, „deplasare

de disc“. Fiindcă nervii spinali ies din coloană printre vertebre, sunt la nivel cu discurile intervertebrale. În plus, când apare hernia de disc, ruptura se produce de obicei acolo unde este presiunea mai mare, spre spate – unde se află nervii spinali. Hernia poate cauza dureri în partea inferioară a spatelui, dar uneori durerea se resimte mai departe, pe lungimea unui nerv comprimat de discul deplasat. Genul acesta de problemă afectează de obicei partea inferioară a spatelui, probabil fiindcă aceasta susține mai multă greutate decât cea superioară. Nervii spinali care ies printre vertebrele lombare inferioare coboară în bazin şi, împreună cu nervii sacrali, formează un nerv foarte mare (de până la 2 cm grosime), care coboară pe partea din spate a coapsei: nervul sciatic. De aceea un disc deplasat din coloană poate provoca o durere ascuțită în jos, pe picior, numită sciatică. Cu vârsta, centrul gelatinos al discului intervertebral tinde să se micşoreze şi să se deshidrateze, ducând la distribuirea inegală a sarcinii spre capetele vertebrei, ceea ce poate cauza microfracturi. Uneori, în loc să se hernieze prin inelul fibros din jurul discului, gelul se poate hernia în sus sau în jos, apăsând pe vertebra propriu-zisă. Bula din discul intervertebral care trece prin placa de la capătul vertebrei se numeşte „nodul Schmorl“. Astfel de noduli se văd la radiografii ca nişte pete întunecate aproape de partea de sus sau de jos a corpului vertebrei. Sunt uşor de observat şi la oasele uscate: discul a dispărut de mult, dar gaura prin care a intrat în corpul vertebral rămâne vizibilă.



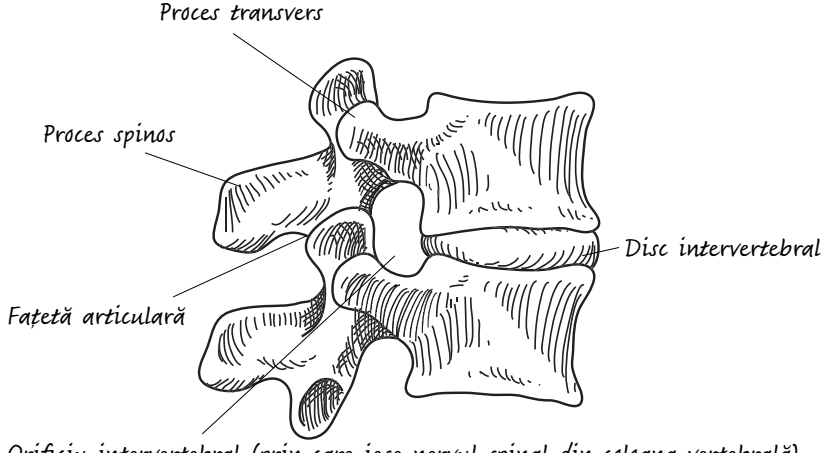
Nodul Schmorl într-o vertebră găsită într-un sit arheologic

Coloana vertebrală umană este „destul de bună“ din punctul de vedere al evoluției, dar creează o mulțime de probleme, mai ales la vârste mai înaintate. Dacă ai suferit vreodată de dureri de spate, nu eşti singurul. Durerile de spate sunt motivul pentru care ajung cei mai mulți oameni la doctor; se estimează că suferă de dureri de coloană cam două treimi din populația lumii.

Discurile intervertebrale permit mişcările uşoare, pendularea şi rotația între vertebrele învecinate. Dar între vertebre există şi articulații mai „convenționale“ care, la fel ca cele de la şold, genunchi sau degete, sunt îmbrăcate într-un cartilaj neted, hialin, şi lubrifiate cu lichid sinovial alunecos.

Articulațiile dintre vertebre cuprind discul intervertebral şi fațetele articulare.

Aceste fațete articulare permit mişcarea în anumite direcții, dar, mai important, limitează deplasarea coloanei. În piept, unde vertebrele sunt ținute la locul lor mai ales de coaste, fațetele articulare permit o uşoară flexiune în față şi extensia în spate, dar nu permit aproape deloc rotația. Zona cervicală are mult mai multă libertate de rotație. În partea lombară, fațetele articulare permit flexiunea şi extensia şi o uşoară rotație. De fapt, în comparație cu cei mai apropiați veri ai noştri din rândul primatelor, coloana noastră lombară este chiar foarte flexibilă.



Articulațiile dintre vertebre sunt formate din discul intervertebral şi fațetele articulare.

Părțile mobile sunt de obicei elementele cele mai problematice în orice structură de inginerie, iar articulațiile coloanei vertebrale nu fac excepție. Am văzut cum nucleul gelatinos al discului poate scăpa în exterior, cauzând probleme, dar fațetele articulare sunt şi ele o sursă de dureri de spate. Chiar şi atunci când stai aşezat sau culcat, îți deplasezi greutatea puțin prin mişcări ale coloanei, aşa că fațetele articulare se odihnesc foarte rar. În cursul vieții, acestea sunt erodate de efort şi de leziunile minore şi tind să se deterioreze chiar mai mult decât discurile odată cu vârsta. Greutatea se deplasează progresiv spre partea din spate a fațetelor articulare, care nu pot duce sarcini prea mari. În cele din urmă, suprafețele de cartilaj hialin se uzează, iar în jurul articulațiilor cresc ciocuri osoase – semnele clasice de osteoartrită.

Fațetele articulare sunt deservite de nervi senzitivi care se ramifică din nervii spinali, părăsind coloana prin intervalele dintre vertebre, aşa că articulațiile în sine pot cauza dureri. Dar în ce măsură sunt ele responsabile de durerile de spate? Un grup de anestezişti americani şi-au propus să afle răspunsul, injectând anestezic în fațetele articulare a 500 de pacienți care sufereau de dureri de spate. Au descoperit că anestezicul atenua durerea la circa jumătate dintre pacienții care sufereau de dureri cervicale cronice, la mai puțin de jumătate dintre cei cu dureri în zona toracică a coloanei şi la o treime dintre cei cu dureri cronice în coloana lombară. Fațetele articulare s-au dovedit a fi sursa durerii şi la un număr considerabil de persoane care au suferit accidente în zona gâtului.

Fațetele articulare spun ceva esențial despre durere: nu e întotdeauna uşor de determinat de unde vine. Dacă suferi o leziune de suprafață, cel mai adesea poți să localizezi cu precizie sursa durerii. Ții minte ultima dată când te-a înțepat un țânțar? E o leziune minusculă, dar ştii exact unde se petrece – de obicei, la timp ca să elimini insecta enervantă cu o palmă. Exteriorul corpului este cartografiat pe cortexul senzorial şi orice fărâmă de informație se localizează direct pe hartă.

Sursa durerii care vine de la organele interne pare mult mai greu de reperat. Interiorul este deservit de alt set de neuroni senzoriali, care de obicei transmit informația către creier la nivel subconştient, permițându-ne astfel să controlăm anumite funcții fiziologice fără să

le dedicăm gânduri conştiente. Dacă n-ar fi aşa, n-am mai avea timp să ne gândim la altceva decât la funcționarea noastră internă. Prin urmare, nu trebuie să ne accelerăm conştient ritmul cardiac când alergăm, sau să ne golim intenționat vezica biliară în duoden când mâncăm. Ceea ce e foarte bine, fiindcă dacă am sta să ne gândim la toate treburile acestea gospodăreşti, n-am mai fi în stare să stăm de vorbă, să rezolvăm o problemă sau să citim o carte. Dar când semnalele senzoriale venite din interior ajung la o intensitate anume, încep să iasă la suprafață, la nivel conştient. Începem să simțim disconfort sau durere, fără să ştim exact care e sursa. Uneori, durerea e difuză şi nebuloasă. Alteori, parcă se încrucişează sinapsele în creier şi durerea pare să vină dintr-o structură îndepărtată de sursa reală. Fenomenul se numeşte „durere reflectată“. Creierului îi e deosebit de greu să diferențieze semnalele de la diverşii nervi senzitivi care intră în măduvă la acelaşi nivel, fapt care îşi are originea în segmentarea inițială a corpului în embrion.

Fiecare somită (proeminențele ca nişte mărgele de pe spatele embrionului) conține grupuri de celule care vor deveni schelet, muşchi şi dermă. Indiferent unde vor ajunge țesuturile acestea, îşi vor „aminti“ originea lor din somită prin nervii spinali care le deservesc. De exemplu, al patrulea nerv spinal (L4) va deservi unele părți din vertebre, dar şi unele segmente ale unor muşchi din picior şi pielea de pe partea inferioară a spatelui şi a piciorului, fiindcă toate acestea s-au dezvoltat din a patra somită lombară a embrionului. Durerea dintr-o fațetă articulară deservită de L4 nu va fi resimțită neapărat în spate, acolo unde se află problema, ci eventual în partea inferioară a spatelui, pe fesă sau pe partea din spate a coapsei, ba uneori chiar şi în partea inferioară a piciorului şi în laba piciorului – zone deservite şi ele de L4.

Injectarea locală de anestezic într-o fațetă articulară lombară poate fi o metodă utilă de diagnosticare şi tratare a durerii locale. Dacă suferi de dureri lombare, se pare că una dintre cele mai folositoare măsuri este să te apuci de yoga.

Poate că, dacă am avea o coloană lombară mai stabilă, ca cimpanzeii şi gorilele, am fi scutiți în mod semnificativ de durerile de spate. Dar faptul că avem un segment lombar flexibil ne face oameni: e foarte important pentru modul nostru de deplasare.

SECȚIUNI LOMBARE LUNGI

Cimpanzeii şi gorilele au, de obicei, cele şapte vertebre cervicale standard, treisprezece vertebre toracice, patru vertebre lombare şi şase sacrale. Aşadar, în comparație cu primatele antropoide africane, se pare că noi, oamenii, avem o coloană lombară relativ lungă. Nu este însă nici pe departe la fel de lungă sau de flexibilă precum cea a rudelor noastre primate mai îndepărtate, maimuțele din Lumea Veche, din Africa şi Asia, la care numărul normal de vertebre lombare este de şapte.

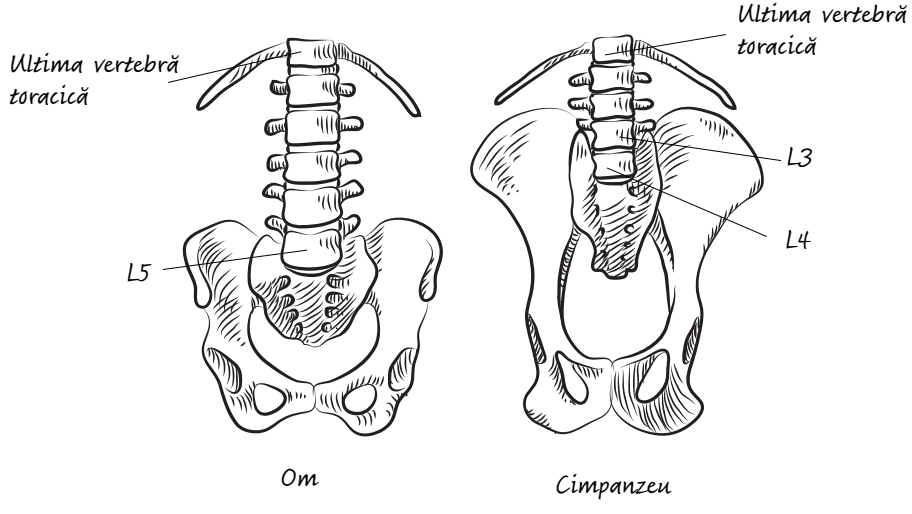
Dacă ne explorăm trecutul evolutiv, vom găsi strămoşi care aveau coloane lombare lungi şi mobile, la fel ca maimuțele de azi din Lumea Veche. Fosilele de *Pliopithecus* arată că maimuțele care trăiau acum circa 15 milioane de ani aveau secțiuni lombare flexibile, care cuprindeau şase sau şapte vertebre, osul sacru scurt şi o coadă lungă. Decurg de aici două întrebări: când ni s-a scurtat atât de mult coloana? Şi de ce nu e la fel de scurtă precum coloana cimpanzeilor sau a gorilelor?

De fapt, secțiunea lombară mai scurtă a fost una dintre schimbările anatomice survenite în urma evoluției primatelor antropoide din maimuțe, împreună cu pierderea aproape completă a vertebrelor caudale. Pierderea cozii este într-un fel o enigmă, deoarece cozile lungi le sunt foarte folositoare animalelor care trăiesc în copaci – ajută la menținerea echilibrului. Când merg pe ramuri orizontale în patru labe, maimuțele mari, ca babuinii, îşi aruncă scurt coada într-o parte sau în alta ca să-şi recapete menținerea echilibrului. Primele maimuțe se mişcau probabil la fel printre ramuri, folosindu-se de palme şi de tălpi. Dar maimuțele-fosile timpurii, ca *Proconsul*, îşi pierduseră deja cozile. Deşi au compensat această pierdere prin creşterea mobilității membrelor, prin coate stabile şi palme şi tălpi mai bune la apucat decât ale predecesorilor, motivele pentru care şi-au pierdut coada rămân, în mare parte, un mister. Eu sunt mândră de zestrea pe care o avem în comun cu primatele, dar uneori mi se pare trist că evoluția ne-a refuzat detaliul acesta anatomic de care încă se bucură verii noştri, de la lemurienii cu coada inelată la maimuțele-păianjen şi babuini.

La animalele mari, fie ele cu sau fără coadă, mersul prin copaci în patru labe devine de la un punct încolo prea riscant. E mult mai sigur să stai atârnat sub crengi, sau să te ridici şi să mergi în picioare,

ținându-ți echilibrul cu ajutorul mâinilor. Aici intervine o diferență fundamentală între maimuțe şi primatele antropoide: maimuțele tind să se deplaseze prin copaci în patru labe, cu trunchiul în poziție orizontală, pe când antropoidele tind să se cațăre, să atârne şi să se legene, cu trunchiul vertical. Iar dacă eşti antropoidă şi te deplasezi astfel, dintr-odată flexibilitatea coloanei lombare devine un pericol. O coloană mobilă e predispusă la accidente, în timp ce spatele țeapăn susține trunchiul în timpul deplasării printre copaci. Acum e limpede de ce cimpanzeii şi gorilele din ziua de azi au secțiuni lombare scurte. Pe lângă faptul că e mai scurt, segmentul acesta al coloanei vertebrale este şi foarte stabil. Partea superioară a oaselor pelviene se ridică mult de o parte şi de alta, imobilizând aproape total ultima vertebră lombară.

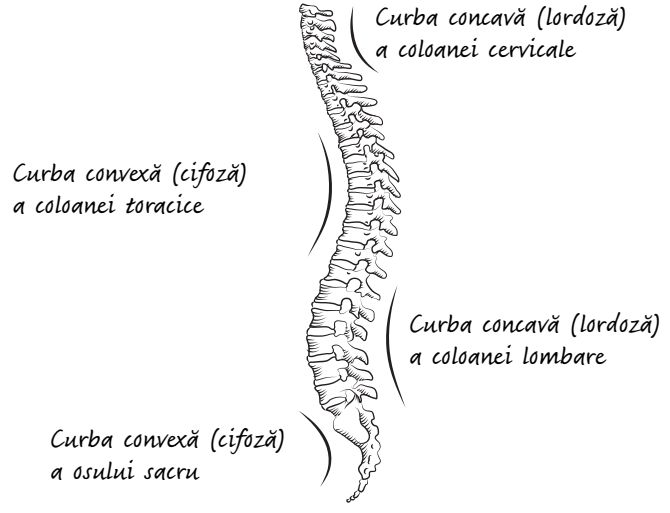
Cu toate că *şi tu* eşti primată antropoidă, partea inferioară a coloanei şi bazinul tău arată cu totul altfel. Ai o secțiune lombară mai lungă, care nu mai e flancată de pelvis. O altă diferență importantă se referă la forma corpurilor vertebrelor lombare. Dacă le privim din lateral, e evident că toate au formă de pană – sunt mai groase în partea de sus. Aşadar, puse una peste alta, formează în mod firesc o



La om, secțiunea lombară a coloanei conține cinci vertebre, față de patru la cimpanzei, iar vertebrele lombare inferioare ale cimpanzeului sunt încadrate de creasta iliacă proeminentă a oaselor pelviene.

curbă concavă, numită lordoză lombară. Concavitatea aceasta caracteristică părții inferioare a spatelui nu apare la alte primate antropoide. Forma îngustată a vertebrelor lombare e prezentă deja la nişte membri foarte îndepărtați ai arborelui genealogic al hominizilor. O coloană fosilizată foarte bine conservată (numită destul de liric STS-14) de *Australopithecus africanus*, specie care a trăit acum 2-3 milioane de ani, arată că vertebrele lombare aveau formă de pană – dovadă că primii hominizi aveau, ca şi noi, lordoză lombară, precum şi secțiuni lombare mai lungi, cu cinci sau chiar şase vertebre.

Probabil că nu eşti impresionat de faptul că ai o curbură în plus în partea de jos a coloanei – şi ce dacă, vei spune? Dar mulțumită acestei scobituri din coloana lombară îți poți îndrepta partea superioară a corpului, ținând pieptul în echilibru deasupra bazinului, iar bazinul deasupra celor două picioare drepte. Cimpanzeilor şi gorilelor le e greu, din câte se pare, să-şi curbeze coloana în spate pentru a-şi deplasa greutatea corpului deasupra pelvisului, aşa că, atunci când se ridică şi merg pe două picioare, tind să țină şoldurile şi genunchii îndoiți. E adevărat că pot merge în două picioare, dar nu la fel de eficient ca noi. Încearcă să faci câțiva paşi cu genunchii şi şoldurile îndoite şi vei vedea că îți suprasoliciți muşchii coapselor.



Coloana curbată a omului

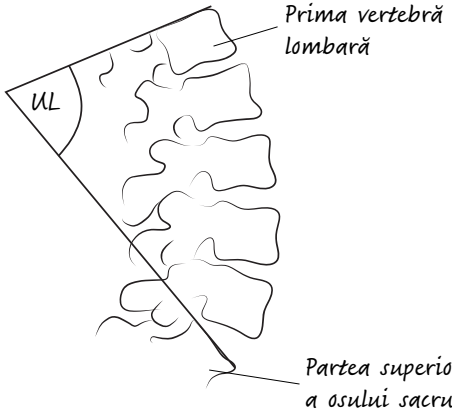
La primatele antropoide care se deplasează preponderent biped (ca tine, ca mine, ca toți oamenii şi ca strămoşii noştri hominizi), curbura concavă a coloanei este esențială pentru eficiența poziției verticale şi a mersului pe două picioare. Aşadar, lordoza lombară prezentă la coloana specimenelor australopitecine arată că strămoşii aceştia începuseră deja să meargă vertical, biped, în mod regulat. O altă implicație a acestui fapt este că, dacă o coloană scurtă şi rigidă reduce riscul de accidente şi ajută la deplasarea între copaci, atunci secțiunea lombară lungă şi flexibilă a lui *Australopithecus africanus* e un semn că hominizii renunțaseră aproape complet la traiul în copaci.

Nu te-ai născut cu lordoză lombară. La început, coloanele nounăscuților au o singură curbură, orientată în afară. În jurul vârstei de un an începe să se dezvolte concavitatea coloanei lombare. Mai apare o concavitate, în zona cervicală, pentru ca greutatea capului să stea în echilibru deasupra trunchiului. În cele din urmă, coloana umană capătă o frumoasă formă de S dublu: prezintă o concavitate la gât, o curbură convexă în torace, o concavitate în secțiunea lombară şi se termină cu curbura convexă a osului sacru.

UN VĂR CU SPATELE DREPT

Povestea secțiunii lombare a coloanei capătă o întorsătură ciudată (metaforic vorbind) când vine vorba de coloanele vertebrale ale celor mai apropiați veri ai noştri din arborele genealogic al hominizilor: oamenii de Neanderthal.

Ființele acestea umane scunde şi solide au trăit în Europa şi în Asia, într-un interval de timp care se întinde de acum 300 000 de ani până acum 30 000 de ani. Există o cantitate enormă de fosile ale oamenilor de Neanderthal (s-au descoperit rămăşițele a peste 275 de indivizi), aşa că, deşi nu avem nici un schelet complet, putem construi un schelet întreg pe baza rămăşițelor din diverse situri. Printre fosilele de Neanderthal din siturile Shanidar, din Irak, Kebara, din Israel, şi La Chapelle-aux-Saints, din Franța, se află vertebre lombare bine conservate. Într-un studiu recent, s-au măsurat aceste vertebre, împreună cu o selecție de la alți hominizi mai vechi şi de la oameni moderni, pentru a se stabili gradul de lordoză la indivizii din fiecare specie. Rezultatele au fost surprinzătoare. Lordoza lombară



Unghiul lordotic (UL) al secțiunii lombare a coloanei (redesenat după Been et al., 2012)

medie la omul modern era de 51º. La primatele antropoide nonumane, media era de 22º. La preistoricul *Australopithecus africanus*, unghiul era destul de apropiat de al omului, 41º, iar *Homo erectus* avea un unghi respectabil, de 45º. La oamenii de Neanderthal însă, unghiul era mic, cu o medie de doar 29º.

Aşadar, se pare că neanderthalienii aveau coloana lombară foarte dreaptă în comparație cu noi. Contrazicând tendința către o coloană curbată în evoluția umană, verii noştri apropiați au dezvoltat un spate mai drept decât strămoşii lor. Pe lângă faptul că secțiunea lombară curbată permite o poziție verticală eficientă, o curbură care acționează ca un arc contribuie, de asemenea, la absorbția şocurilor. Fără lordoza lombară, oamenii de Neanderthal mergeau probabil mai încet, cu paşi mai mici şi cu trunchiul uşor aplecat înainte. Pare a fi un regres, dar se poate să fi avut un motiv foarte bun ca să dezvolte o coloană dreaptă – stabilitatea.

O coloană lombară dreaptă şi puternică reducea presiunea exercitată asupra coloanei vertebrale, permițându-le oamenilor de Neanderthal să îndeplinească activități mai solicitante cu partea superioară a corpului şi să poarte greutăți mai mari decât verii lor mai firavi, strămoşii noştri umani moderni. Cine ştie, poate dacă ne-am trage din oamenii de Neanderthal (unii dintre noi, inclusiv eu, avem un

procent mic de ADN de neanderthalian în genom, dar se pare că nu e suficient sau nu este plasat astfel încât să ne afecteze coloana), nu am acuza acum atât de frecvent dureri în partea inferioară a spatelui.

Deşi scheletele de neanderthalian seamănă cu ale noastre în multe privințe, există totuşi diferențe importante, care reflectă, probabil, deosebirile dintre stilul lor de viață şi cel al strămoşilor noştri. Pe lângă secțiunea lombară mai dreaptă, o altă trăsătură izbitoare a trunchiului omului de Neanderthal este pieptul mare, bombat. Dar şi pieptul tău e neobişnuit – are o formă complet diferită de pieptul celor mai multe mamifere şi al altor primate antropoide.

COASTE, PLĂMÂNI ŞI INIMI

COASTELE STRĂMOŞILOR NOŞTRI, INIMA ŞI PLĂMÂNII PEŞTILOR

„Ştii tu cum curge sângele cel cald
Dintr-un ventricul către celălalt?“

JOHN DONNE, *OF THE PROGRESSE OF THE SOULE*

CUTIA TORACICĂ ŞI DIAFRAGMA

Când studiez un schelet dintr-un sit arheologic, mai întâi aşez oasele în ordinea lor anatomică, ca şi cum individul ar sta culcat pe spate, cu braţele în lateral şi palmele în sus. Apoi fac un inventar al oaselor, după care cercetez fiecare os cu atenţie, căutând acele caracteristici care m-ar putea ajuta să determin vârsta şi sexul individului şi orice semne de boală.

Coastele îmi dau uneori bătăi de cap: sunt adesea sfărâmate în bucăţele mici, dar, după ce lucrez o vreme cu răbdare la acest puzzle, reuşesc să le pun în ordine. Pieptul uman are forma unui butoi turtit, iar poziţia coastelor e indicată de forma lor. Faţetele din jurul capului şi al gâtului coastei ne arată dacă aceasta provine din partea dreaptă sau stângă a pieptului. Coastele din partea de sus şi cele de jos au şi ele o formă aparte. Prima coastă este un os mic, în formă de C, aplatizat pe orizontală, în vreme ce toate celelalte coaste sunt aplatizate orizontal.

Ca majoritatea oaselor din organismul uman, coastele se dezvoltă din modele de cartilaj care, la rândul lor, iau naştere din ţesutul conjunctiv embrionar, cunoscut şi sub numele de mezenchim. Celulele care formează coastele au aceeaşi sursă precum cele care formează vertebrele toracice: somitele (şirul de proeminenţe de pe spatele embrionului) din regiunea pieptului embrionului. Aşa cum există douăsprezece vertebre toracice, există şi douăsprezece perechi de coaste (şi numărul este acelaşi la ambele sexe, orice ar crede unii creaţionişti). Sternul, sau osul pieptului, se dezvoltă din mezenchimul care porneşte de la marginile exterioare ale embrionului, când acesta încă mai are formă de disc. Când embrionul se curbează sub formă de cilindru, în a patra săptămână de gestaţie, marginile se unesc pe

mijloc, în față. La fel ca la coaste, se formează mai întâi un model de cartilaj al sternului, care mai târziu se osifică.

Cele şapte perechi de coaste superioare se întind de la vertebre, în spate, până la stern, în față. De fapt, partea osoasă a coastei se termină înainte să ajungă la stern, iar arcul se încheie cu o tijă cartilaginoasă: cartilajul costal. De fapt, cum toate coastele au fost inițial cartilaj, care mai târziu s-a transformat în os, cartilajul costal nu e altceva decât capătul frontal, neosificat, al coastei. El dă flexibilitate cutiei toracice, de care probabil te-ai bucurat dacă ai ajuns vreodată în rândurile din față la un concert rock dezlănțuit. Tot el face posibile şi compresiile toracice în resuscitarea cardiopulmonară (RCP): sternul poate fi împins în jos circa 5 cm, pentru a pompa sângele prin inimă şi a menține circulația până ajunge la fața locului cineva cu un defibrilator.

Coastele sunt unite între ele de muşchii intercostali şi fiecare set de astfel de muşchi este deservit de ramificații ale unei singure perechi de nervi spinali. Inervarea segmentară a acestor muşchi ai pieptului ne aminteşte din nou că, în esență, corpul nostru e segmentat – aşa se dezvoltă în embrion, la fel ca în cazul larvelor musculițelor de oțet.

Multe manuale de anatomie spun şi în ziua de azi că principala funcție a muşchilor intercostali este mişcarea coastelor cu scopul de a lărgi sau de a micşora cutia toracică atunci când inspirăm sau expirăm. E adevărat că muşchii intercostali pot schimba forma şi volumul toracelui, dar nu aceasta este funcția lor principală. Şi, bineînțeles, când vine vorba de respirație, avem alt muşchi mult mai important: diafragma. Muşchiul acesta boltit se prinde de marginile inferioare ale cutiei toracice, de coloana vertebrală, în spate, şi de partea inferioară a sternului, în față.

Dacă în momentul de față nu depui nici un efort, probabil că diafragma ta urcă şi coboară aproximativ un centimetru şi jumătate de vreo douăsprezece ori pe minut, menținând fluxul şi refluxul aerului din plămâni. Când eşti relaxat, diafragma se curbează în sus, în cutia toracică, dar, dacă tragi aer adânc în plămâni, se va contracta şi se va aplatiza, coborând cu circa 10 cm. În piept, volumul plămânilor a crescut, ceea ce înseamnă că presiunea din interiorul lor a scăzut şi au tras aer din exterior prin nări, cavitatea nazală, faringe, laringe, trahee şi bronhii. Principalul rol al muşchilor intercostali nu

este deci să deplaseze coastele, ci să se împotrivească tendinței spațiilor dintre coaste de a fi aspirate de presiunea negativă din torace atunci când inspirăm. Mușchii intercostali întăresc pereții pieptului, astfel ca volumul toracic câştigat prin aplatizarea diafragmei să nu se piardă din cauză că spațiile intercostale sunt trase spre interior.

Contractarea diafragmei poate spori volumul toracelui (şi al plămânilor) cu până la trei litri, dar numai dacă muşchii intercostali funcționează corect. Dacă aceştia sunt paralizați, vor fi traşi spre interior cu fiecare răsuflare, iar volumul plămânilor se va mări doar pe jumătate față de cât ar putea să crească. Aşa se întâmplă uneori în cazul leziunilor măduvei spinării în partea inferioară a gâtului. La acest nivel, leziunile afectează toți nervii spinali situați mai jos de rană, inclusiv nervii care deservesc muşchii intercostali. Diafragma rămâne însă funcțională, mulțumită altei ciudățenii anatomice pe care nu o putem înțelege decât analizând dezvoltarea embrionară. De o parte şi de alta a gâtului coboară nervul frenic, care trece pe sub claviculă şi pe sub prima coastă şi intră în piept. Continuă să coboare pe lângă inimă până la diafragmă, care constituie limita inferioară a toracelui. Dacă am căuta mai departe în trecutul tău embrionar, în a cincea săptămână de existență, am vedea că inima embrionară s-a format deja şi chiar bate, dar se află sus, tocmai în regiunea gâtului. Sub inimă, dar tot în gât, creşte o porțiune triunghiulară de țesut, din fața embrionului spre spatele acestuia. Septul transvers, cum i se spune, este precursorul diafragmei, iar ramificațiile nervilor spinali cervicali care cresc în direcția lui în etapa aceasta timpurie îi vor rămâne credincioase. În următoarea lună, diafragma în dezvoltare va coborî pe măsură ce embrionul creşte în lungime. În cele din urmă, va ajunge în partea de jos a toracelui, dar îşi va păstra acelaşi nerv, care vine mult mai de sus, din gât. De aceea, după cum învață studenții la medicină, „C 5, 4 şi 3 / țin diafragma la locul ei“. Nervul frenic îşi are originea în gât – se formează din al treilea, al patrulea şi al cincilea nerv spinal cervical.

FORME ALE TORACELUI

Cutiile toracice ale mamiferelor au tot felul de forme şi mărimi, dar toate trebuie să îndeplinească aceleaşi funcții legate de organele pe

care le adăpostesc. Coastele protejează inima şi plămânii şi oferă puncte de prindere pentru diafragmă şi muşchii intercostali, fapt care ne permite să respirăm. Dar forma pieptului nu ține doar de ce se află înăuntru, ci şi de elementele cu care este conectat la exterior. Un astfel de element esențial este omoplatul, care se leagă de membrele anterioare, la alte animale, şi de membrele superioare (de brațe), la noi. Animalele care merg şi aleargă pe patru picioare au, în general, cutia toracică aplatizată pe lateral. Pisicile sau câinii au pieptul îngust şi adânc. Maimuțele, tot patrupede şi ele, au toracele îngust. La toate aceste animale, omoplatul se prinde de partea laterală a pieptului îngust şi se roteşte odată cu mişcarea care aduce membrul anterior în față şi în spate la fiecare pas. Primatele antropoide sunt însă altfel; partea inferioară a cutiei toracice este mai degrabă lată decât adâncă şi este aplatizată în față şi în spate. Nici oamenii nu fac excepție, cu toții avem pieptul aplatizat în față şi în spate – după cum poți observa singur. În timp ce câinilor şi pisicilor li se fac radiografii din lateral, pieptul uman este radiografiat din poziție frontală. (De fapt, radiografiile standard se fac din direcția opusă şi poartă numele de radiografii „de incidență postero-anterioară“, sau PA.)

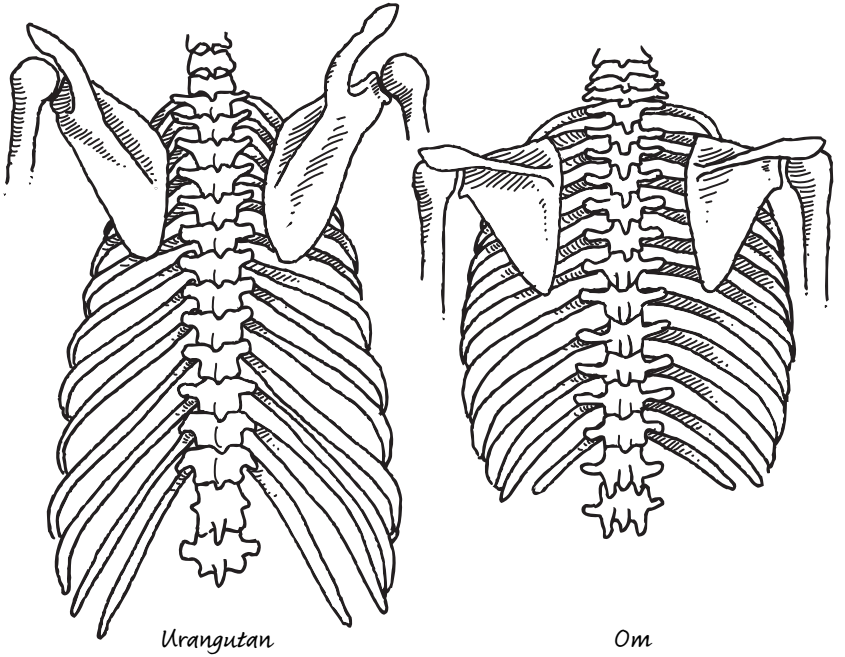
Forma aceasta a pieptului ține de modul aparte în care se deplasează primatele antropoide. Deşi au evoluat din maimuțe mai mici, nu sunt în nici un caz o versiune la scară mai mare a lor şi nici nu se mişcă la fel ca majoritatea maimuțelor. Când eşti mare, e mai greu să mergi în patru labe pe ramuri. E mult mai uşor şi mai sigur să te cațări şi să te ridici cu forța brațelor, întinzând mâinile ca să te agăți de ramurile de deasupra capului. Astfel, te poți deplasa pe ramuri foarte subțiri şi poți ajunge până la marginea coroanei copacilor, unde fructele sunt cel mai abundente – iar aceasta este altă caracteristică a primatelor: majoritatea sunt frugivore. Unele antropoide din ziua de azi, inclusiv gibonii şi urangutanii, stau şi ei atârnați de brațe, cu trunchiul în poziție verticală.

Unele maimuțe au pieptul foarte asemănător cu cel al antropoidelor, aplatizat în față şi în spate: maimuțele-păianjen (*Ateles*) din America Centrală şi de Sud. Forma pieptului lor este un exemplu de evoluție convergentă – se deplasează la fel ca gibonii, aruncându-se dintr-un copac în altul, suspendate de ramuri, cu trunchiul vertical. Pieptul lor s-a adaptat la situație la fel ca în cazul primatelor. Firește, mai există şi alte primate care nu se mai deplasează (prea mult) prin copaci, dar

au totuşi pieptul aplatizat în faţă şi în spate: noi, oamenii. Am moştenit forma aceasta de la strămoşii care-şi petreceau mult mai mult timp cățărându-se prin copaci, dar ea se potriveşte foarte bine şi unei primate antropoide care merge pe pământ, în poziție verticală. Există însă şi diferențe între pieptul nostru şi pieptul altor primate.

Dacă facem o comparație între pieptul uman şi pieptul de urangutan, vom observa diferențe flagrante. Pieptul uman are formă bombată, iar partea de jos a cutiei toracice se curbează înăuntru. Pieptul urangutanului însă are formă de pâlnie, coastele inferioare răsfirându-se spre exterior; e îngust în partea de sus, iar omoplații sunt apropiați unul de altul şi poziționați mai sus. Urangutanii şi alte primate nonumane arată de parcă ar da din umeri încontinuu.

Dimpotrivă, partea de sus a pieptului uman e destul de largă, iar omoplații se află mai jos şi sunt mai depărtați. Astfel, poziția pe care



Cutie toracică de urangutan, în formă de pâlnie, şi de om, în formă de butoi

o au umerii noştri nu este ideală pentru cățărat, dar ne ajută să ne legănăm brațele ca să ne menținem echilibrul atunci când mergem. Data viitoare când ieşi la plimbare, încearcă să mergi cu paşi potriviți, relaxat, şi fii atent la cum ți se mişcă pieptul, umerii şi brațele. Umerii se răsucesc în direcția inversă a forței de rotație pe care o generezi aruncând piciorul înainte. Brațele ți se leagănă ca să contribuie la rotație. Dacă încerci să le ții nemişcate, mersul devine dintr-odată mult mai puțin confortabil şi chiar mai puțin eficient din punctul de vedere al energiei consumate. Întrucât ai pieptul larg în partea de sus, umerii şi brațele îți sunt poziționate frumos pe lateral, astfel încât brațele să se poată legăna liber. Dacă ai avea pieptul în formă de pâlnie şi umerii ridicați şi apropiați unul de celălalt, ar trebui să întinzi brațele în lături ca să le poți legăna fără să le loveşti de trunchi.

Pe lângă faptul că le permite brațelor să se legene liber în lateral, mai există un motiv pentru care pieptul uman a căpătat formă de butoi. Cutia toracică se leagă de pelvis prin mușchi – trei straturi laterale de mușchi, care se răsucesc peste partea anterioară, şi o pereche de mușchi lungi, ca nişte fâşii, numiți colectiv mușchiul drept abdominal, situat de o parte şi de alta a axei centrale a corpului. Mușchii aceştia formează pereții abdomenului, dar contribuie şi la mişcarea trunchiului. Datorită mușchilor laterali te poți înclina într-o parte şi-n alta şi te poți răsuci, în timp ce mușchiul drept abdominal apleacă trunchiul înainte – e cel care se încordează când facem abdomene. Forma părții inferioare a cutiei toracice, de care se prinde partea de sus a mușchiului drept abdominal, reflectă forma pelvisului, de care se ataşează partea de jos a mușchiului. Iar forma pelvisului s-a schimbat radical în decursul evoluției umane.

Primatele antropoide au osul pelvian mai lat şi, în consecință, pieptul în formă de pâlnie, mai larg în partea de jos. La om, care are un pelvis lung şi îngust, adaptat la mersul biped, partea inferioară a cutiei toracice a devenit şi ea mai îngustă. Dar capacitatea interioară a pieptului este importantă, fiindcă, firește, în piept se află inima şi plămânii. Aşadar, e posibil ca mersul biped şi pelvisul îngust să fi determinat de fapt schimbarea formei toracelui uman: îngustându-se în partea de jos, pieptul uman a fost nevoit să se lărgească în partea de mijloc şi în cea superioară; s-a ajuns astfel la forma tipică de butoi, din nevoia de a crea suficient volum pentru plămâni.

Indiferent ce a determinat schimbarea formei pieptului, se pare că toracele în formă de pâlnie al altor primate antropoide, cu umeri ridicați și apropiați, este rezultatul unui stil de viață în care se practica mult cățăratul în copaci. Pe de altă parte, oamenii, care se deplasează pe două picioare, au umerii coborâți și depărtați, prinși de un torace în formă de butoi. Aşadar, forma pieptului ne poate da indicii despre modul de deplasare al hominizilor preistorici şi ne-ar putea arăta chiar şi când au început strămoşii noştri să meargă pe pământ. Dacă presupunem că ultimul strămoş comun al omului şi cimpanzeului avea toracele conic, trecerea la un piept asemănător cu al omului, ar fi un adevărat punct de cotitură în evoluția umană.

COASTE FOSILE

Din păcate, coastele sunt oase subțiri şi se rup uşor. Coastele fosile bine conservate sunt rare, aşa că e greu de stabilit când anume, de-a lungul timpului, şi-a schimbat pieptul forma. Există însă câteva fosile care ne oferă indicii importante.

Prima dovadă fosilă a existenței unui torace asemănător cu al omului, în formă de butoi, vine de la o fosilă timpurie de *Homo erectus*, care datează de acum aproximativ 1,5 milioane de ani. Scheletul toracic în cauză i-a aparținut unui tânăr remarcabil, supranumit „Băiatul de la Nariokotome“[1], pe care-l vom cunoaşte mai bine în capitolul următor.

Înainte de *Homo erectus*, coastele fosilizate sunt rare. *Homo erectus* nu e prima specie care a primit numele genului nostru, *Homo*; mai există două specii umane mai vechi, apărute acum circa 2,4 milioane de ani: *Homo habilis* şi *Homo rudolfensis* (deşi subiectul e controversat şi nu toată lumea este de acord că cele două specii sunt suficient de umane încât să poarte numele de *Homo*). Referitor la acestea din urmă, s-au păstrat mai ales fragmente din cranii, mandibule şi dinți şi foarte puține dovezi despre restul scheletului.

Există câteva coaste fosile de la o specie despre care s-a presupus că ar fi un strămoş al lui *Homo*. Specia a fost descoperită de fiul de

1. Cunoscut şi ca „Băiatul de la Turkana“, după numele râului din Kenya în apropierea căruia a fost găsit (n. tr.).

nouă ani al unui paleontolog, în Africa de Sud, în 2008. În timp ce tatăl lui lucra la un sit din apropiere, băiatul a dat peste o piatră din care ieşea ceva ce semăna cu un os. I-a dus, cuminte, piatra tatălui său, care a recunoscut în osul proeminent o claviculă şi, întorcând piatra pe partea cealaltă, a descoperit, spre uimirea lui, o bucată de mandibulă de care încă se mai agăța un dinte. Băiețelul, Matthew Berger, găsise prima fosilă a unei specii complet noi, pe care tatăl lui, Lee Berger, avea s-o boteze *Australopithecus sediba*. Oasele s-au găsit într-o groapă dintr-o peşteră, un fel de „capcană mortală" în care cădeau hominizii. În limba sudafricană sotho, „sediba" înseamnă „puț" sau „izvor". După acea primă descoperire întâmplătoare, situl de la Malapa a scos la iveală sute de oase de la mai mulți indivizi din noua specie australopitecină, vechi de circa două milioane de ani.

Australopithecus sediba prezintă un amestec de trăsături bizar – unele mai arhaice, altele mai degrabă umane. Printre fosilele de la Malapa se numără şi o colecție considerabilă de fragmente de coaste, majoritatea din partea superioară şi mijlocie a pieptului, iar partea de sus a cutiei toracice a acestui hominid seamănă destul de mult cu cea a primatelor antropoide – este conică. Nu încape îndoială că *Australopithecus sediba* este hominid şi că mergea pe două picioare, dar, dacă întreaga sa cutie toracică ar fi avut formă de pâlnie, atunci nu şi-ar fi putut legăna brațele pentru a economisi energie, cum facem noi când mergem. Aşadar, hominizii aceştia nu ar fi putut merge sau alerga pe distanțe lungi cu prea mare eficiență.

Dacă-i studiem pe Băiatul de la Nariokotome şi pe *Australopithecus sediba*, putem presupune cu uşurință că primii hominizi aveau pieptul în formă de pâlnie şi că cei de mai târziu au dezvoltat forma de butoi. Dar o altă fosilă pune sub semnul întrebării traiectoria aceasta simplă. În 2005 s-a descoperit fosila numită Kadanuumuu, în regiunea Afar din nordul Etiopiei – aceeaşi zonă extinsă din care vine celebra fosilă Lucy, aparținând speciei *Australopithecus afarensis*. Kadanuumuu face parte din aceeaşi specie ca Lucy, dar e mult mai mare; de fapt, numele lui înseamnă „Om mare" în limba locală. Dacă Lucy avea cam un metru înălțime (înălțimea medie a unui copil de trei ani), Kadanuumuu măsura cam 1,5-1,7 m înălțime.

Kadanuumuu are cinci coaste aproape complete, suficiente pentru a sugera că pieptul lui era larg în partea de sus – deci avea mai degrabă formă de butoi decât de pâlnie. Pe lângă alte indicii anato-

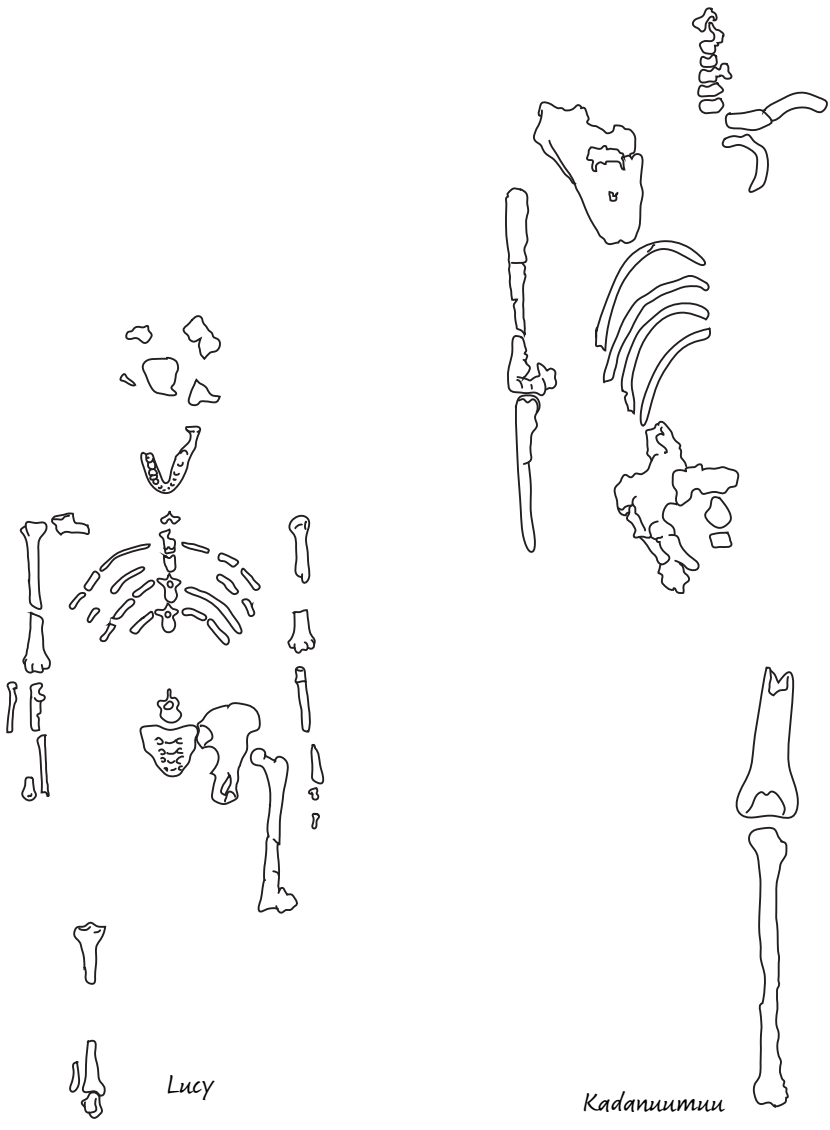
mice, coastele lui Kadanuumuu au servit drept argument că exemplarul abandonase complet viața în copaci şi trăia mergând pe pământ.

Ceva însă nu se leagă. Dacă atât Kadanuumuu, cât şi *Australopithecus sediba* sunt strămoşi direcți ai omului înseamnă că primii hominizi trebuie să fi avut inițial un torace asemănător cu cel al altor primate antropoide, după care au dezvoltat un torace asemănător cu cel omenesc (Kadanuumuu), pentru a se întoarce la o formă similară cu forma primatelor antropoide (*Australopithecus sediba*) şi a reveni, în cele din urmă, la un model uman în vremea lui *Homo erectus*. S-ar părea că *Australopithecus sediba* a făcut un pas înapoi, revenind la umerii ridicați şi, probabil, la obiceiul de a-şi petrece mare parte din timp prin copaci, atunci când nu mergea pe două picioare la sol.

Dar modul acesta de a vedea evoluția nu ne ajută din mai multe motive. Nu trebuie să ne aşteptăm la traiectorii şi tendințe simple. Evoluția hominizilor, ca şi evoluția oricărui grup de animale cu care se înrudesc îndeaproape, nu e un „marş al progresului“ liniar. Evoluția de şase-şapte milioane de ani a hominizilor nu e asemenea unei rămurele care creşte dintr-o creangă a vastului arbore al vieții, urmând o succesiune ordonată şi liniară de specii, ci este ea însăşi un copăcel cu crengi; iar fiecare specie din mănunchiul acesta de ramuri trebuie să se fi adaptat la mediu în moduri pe care de-abia am început să le înțelegem. Se poate ca diversitatea formelor pieptului la hominizi să reflecte pur şi simplu diversitatea modurilor de deplasare: unele specii petreceau mai mult timp în copaci, pe când altele mergeau mai mult pe pământ.

Uneori e greu să determinăm locul speciilor în arborele genealogic al hominizilor. Putem sugera anumite legături între specii, dar nu putem şti nimic cu certitudine – e posibil ca unele specii să reprezinte verigi reale între noi şi cei mai vechi hominizi, în timp ce altele aparțin altor ramificații. Aşadar, e posibil şi să ne fi străduit noi prea tare să îndesăm speciile într-o genealogie anume: poate că *Australopithecus sediba* nici măcar nu este un strămoş al omului, ci se situează pe o ramură laterală a arborelui genealogic al hominizilor.

În fond, încercăm să înțelegem de ce forma pieptului nostru e diferită de a altor primate. Încercăm să aflăm când anume, în genealogia noastră, forma de butoi i-a luat locul formei de pâlnie. Dar poate (şi posibilitatea este interesantă) pornim de la premisa greşită. Am



Două fosile celebre de Australopithecus afarensis

presupus că primii hominizi aveau pieptul în formă de pâlnie, dar dovezile sunt prea puține şi fragmentare ca să putem fi siguri. Dacă, de fapt, au avut de la bun început pieptul asemănător cu cel al omului?

Pieptul în formă de pâlnie este tipic pentru antropoidele nonumane, dar există şi excepții. Dacă urangutanii, cimpanzeii şi gorilele au cutia toracică în formă de pâlnie, cu coastele inferioare îndepărtate spre exterior, gibonii şi siamangii, mai mici şi înrudiți mai de departe cu noi, au toracele în formă de butoi – un fel de versiune miniaturală a toracelui uman. Oamenii nu au adaptările musculare esențiale comportamentului suspensiv (ca atunci când atârnă de brațe) prezente în anatomia altor primate mari. Ori oamenii au pierdut adaptările acestea musculare în timpul care ne desparte de un strămoş care atârna în copaci, ori adaptările (şi comportamentul respectiv) nici măcar n-au existat în ascendența noastră. Acum peste 30 de ani, pe baza observației acesteia despre mușchi, unii paleoantropologi au sugerat că, cel mai probabil, oamenii au evoluat dintr-o primată mică, cu pieptul asemănător ca formă cu al gibonului.

Ipoteza aceasta răstoarnă ideile pe care le avem despre evoluția formei pieptului. Am presupus că ultimul strămoş comun al omului şi al altor primate antropoide avea pieptul în formă de pâlnie şi că antropoidele din prezent (cele nonumane) au păstrat forma aceasta, în timp ce pieptul omului şi-a schimbat forma, care, în prezent, seamănă mai mult cu un butoi turtit. Se poate însă ca ultimul strămoş comun să fi avut pieptul în formă de butoi şi ca primatele mari să-şi fi dezvoltat toracele în formă de pâlnie ca adaptare la preferința lor pentru cățăratul vertical. Din perspectiva aceasta, se poate ca oamenii să fie cei conservatori, fiindcă au păstrat o formă a pieptului care are o lungă istorie. Avem mereu tendința să ne considerăm speciali, să ne gândim că suntem cei care s-au schimbat cel mai mult de pe vremea strămoşului pe care îl avem în comun cu alte primate. În ceea ce priveşte forma pieptului se poate ca oamenii să se fi schimbat mai puțin decât alte primate de-a lungul evoluției.

PIEPTUL OMULUI DE NEANDERTHAL

Forma pieptului reflectă atât postura şi modul nostru de deplasare (ca primată antropoidă cu trunchiul vertical, care nu mai atârnă prin copaci şi care obişnuieşte să-şi legene brațele în mers), cât şi un fapt mai general despre stilul nostru de viață. Cel puțin *mărimea* pieptului ne dă unele indicii. Iar acel „ceva“ iese la lumină când ne

comparăm cu cele mai apropiate rude dispărute ale noastre: oamenii de Neanderthal.

Cea mai completă cutie toracică de Neanderthal descoperită până acum îi aparține specimenului Kebara, „K2" – acelaşi schelet parțial care cuprindea şi osul hioid de Neanderthal despre care am vorbit mai devreme, în capitolul „Vorbirea şi branhiile". În mod incredibil, toracele lui K2 include fragmente din toate coastele, aşa că, spre deosebire de bucățelele de cutii toracice ale altor hominini timpurii, acesta lasă mult mai puțin loc de interpretări.

Când studiez oase de neanderthalian, mă mir întotdeauna de cât de robuste sunt în comparație cu oasele umane moderne. Chiar şi cel mai solid schelet anglo-saxon pare firav în comparație cu cel al omului de Neanderthal. Fiecare os din corp (cu excepția bizară a claviculei, care e extrem de lungă şi subțire) arată ca o versiune supradimensionată a echivalentului de la omul modern. Forma întregului schelet, reasamblat, este şi ea robustă. Cutia toracică pare masivă. În comparație cu coastele populațiilor umane moderne, coastele lui K2 sunt mai mari – în termeni absoluți, dar şi relativ la înălțime. Pe baza acestor coaste lungi, putem deduce că volumul pieptului omului de Neanderthal era mai mare decât la omul modern. Dar, fiindcă până şi coastele acestea bine păstrate de neanderthalian au suferit unele deformări cât au stat în pământ, nu putem fi siguri dacă creşterea volumului a rezultat dintr-o expansiune a pieptului pe axa față-spate sau dintr-o lărgire laterală. Ca să răspundem la întrebarea aceasta, ar trebui să descoperim coaste de om de Neanderthal care s-au păstrat intacte.

Cu toate acestea, e limpede chiar şi din coastele acestea puțin îndoite că pieptul neanderthalienilor era nu doar mai mare, ci şi diferit ca formă de al nostru. Coastele de sus şi cele de jos sunt comparabile ca mărime cu cele din pieptul omului modern, dar cele din mijloc sunt mult mai mari. Dacă despre pieptul omului modern se spune în general că are formă de butoi, pieptul omului de Neanderthal are formă de „hiper-butoi" – mult mai mare la mijloc. Putem presupune că, dacă aveau pieptul mare, membrii acestei specii aveau şi plămâni mari (fapt de care nu suntem deloc siguri, fiindcă poziția diafragmei şi gradul ei de curbură în piept au o influență foarte importantă asupra volumului pulmonar). Cu toate acestea, cel puțin la omul modern, un piept mare înseamnă şi plămâni mari. Populațiile

indigene care trăiesc în prezent la altitudini mari în Anzi au, în general, o circumferință mai mare a pieptului şi, implicit, plămâni mari.

S-a spus de multe ori despre oamenii de Neanderthal că erau „adaptați la frig“ şi s-a propus ideea că pieptul şi plămânii lor mari erau o astfel de adaptare. Dar se pare că avem motive solide să presupunem (chiar şi în absența unui morman de coaste impecabile) că şi cutiile toracice ale homininilor mai vechi din Europa şi Africa erau mari. Am stabilit deja că forma pieptului „se potriveşte“ cu cea a pelvisului. Descoperirea recentă a unui pelvis foarte lat de *Homo erectus* (într-un sit numit Gona, din Etiopia, despre care vom mai discuta) sugerează că silueta scundă şi robustă era caracteristică oricărui *Homo* preistoric. Aşadar, oamenii de Neanderthal nu şi-au dezvoltat o statură aparte, ca urmare a adaptării la clima rece, ci n-au făcut decât să păstreze o constituție primitivă; omul modern însă a ieşit din normă şi a căpătat o siluetă mult mai subțire şi mai grațioasă decât strămoşii noştri recenți. La oamenii de Neanderthal şi la alte specii mai timpurii, pieptul mare era probabil necesar pentru a facilita consumul de oxigen necesar pentru un corp masiv şi un stil de viață foarte activ – în comparație cu al omului de azi. Dacă nouă ne trebuie cam 2 000-2 500 de calorii pe zi, necesarul zilnic de energie al unui om de Neanderthal era, conform estimărilor, de circa 3 500-5 000 de kilocalorii pe zi. Consumul ridicat de calorii, necesar pentru a menține o temperatură corporală mai ridicată, însemna, poate, că oamenii de Neanderthal se adaptau firesc la un mediu rece, dar nu şi că forma corpului lor ar fi fost o consecință a acestui tip de climă.

INIMA

Chiar dacă există diferențe importante în ceea ce priveşte forma pieptului între noi şi strămoşii noştri sau alte primate antropoide de azi, înăuntrul acestei cavități se întâmplă cam acelaşi lucru la orice antropoidă – de fapt, la orice mamifer. Orice mamifer are doi plămâni şi o inimă cu patru compartimente: atriul şi ventriculul stâng şi atriul şi ventriculul drept. Partea dreaptă a inimii pompează sânge dezoxigenat spre plămâni, unde se încarcă cu oxigen, apoi revine în partea stângă a inimii, care pompează sângele bine oxigenat în restul

corpului. Ciclul se poate ilustra în forma cifrei opt, cu o buclă prin partea dreaptă a inimii şi o altă buclă prin partea stângă. Dar cele două părți ale inimii se contractă în acelaşi timp, astfel încât ventriculul drept împinge sângele în plămâni, în timp ce ventriculul stâng împinge sângele în aortă, spre restul corpului. Circulația dublă este tipică animalelor terestre, inclusiv nouă. Peştii au o altfel de inimă, fără circulație dublă, care nu are o parte stângă şi o parte dreaptă. Dar dezvoltarea ta embriologică dezvăluie din nou legături cu strămoşii acvatici îndepărtați şi cu inimile lor mai simple.

DEZVOLTAREA EMBRIONARĂ A INIMII

Inima a început să ți se dezvolte incredibil de devreme în timpul vieții embrionare. Încă de când erai doar un disc germinativ trilaminar care semăna cu un sendviş cu gem, înainte să te fi rulat sub forma elementară a celor doi cilindri concentrici, s-a coagulat un grup de celule care avea să formeze precursorul inimii. Celulele acestea au format tuburi ca două potcoave pe marginile discului germinativ. În a patra săptămână, când începeai să te curbezi, brațele potcoavei s-au unit în partea din față a corpului în formare, iar cele două tuburi s-au contopit, alcătuind un singur tub cardiac primitiv. Când au apărut arcurile branhiale pe părțile laterale ale gâtului tău de embrion, în ele s-au format o serie de arcuri aortice, care uneau inima cu două vase situate de-a lungul spatelui: aortele dorsale.

La doar patru săptămâni după concepție, inima ta tubulară, embrionară, a început să bată, iar celulele sangvine recent formate au început să călătorească prin noile vase de sânge. Inima şi circulația formează un sistem de transport în masă. Dacă celulele individuale şi grupurile mici de celule pot comunica cu mediul doar prin difuziune, pentru a face schimb de gaze, substanțe nutritive şi deşeuri, când creşti puțin mai mare ai nevoie de un sistem de transport. Oxigenul şi substanțele nutritive sunt transportate spre celule care se află departe de locul schimbului de gaze sau al absorbției de nutrimente, iar deşeurile sunt duse acolo unde pot fi eliminate din corp. Inima şi circulația formează un astfel de sistem de transport în masă.

Când inima embrionară începe să bată, circulația funcționează într-o singură buclă, ca la peşti. În etapa aceasta de dezvoltare, mi-

nuscula inimă embrionară seamănă foarte mult cu o inimă de peşte. Iată un caz în care i se poate ierta lui Haeckel interpretarea recapitulativă, în care se presupune că animalele „superioare“ trec prin stadii embrionare în care arată ca *adulții* speciilor „inferioare“.

Inima peştelui este un tub muscular, în care sângele intră pe la „coadă“ şi din care este pompat în afară pe la „cap“. De acolo, curge în arterele care alimentează branhiile, se încarcă cu oxigen, apoi trece în cele două aorte dorsale, care se unesc într-un singur vas în partea posterioară a peştelui. Inima şi arcurile aortice ale embrionului uman de cinci săptămâni seamănă tulburător de mult cu ale unui peşte adult. Dar sângele se oxigenează în cu totul alt loc: nu în branhii (fiindcă, deşi ai arcuri branhiale, acestea nu vor deveni vreodată branhii *adevărate*) şi nici în plămâni (care de-abia încep să se dezvolte şi, firește, sunt plini cu lichid amniotic, nu cu aer). Ca embrion şi ca făt (oficial, eşti făt de la opt săptămâni după concepție până la naştere), îți primeşti substanțele nutritive şi oxigenul necesar de la mamă – prin placentă. O singură venă poartă sângele oxigenat de la placentă la embrion, unde ajunge repede la inimă şi este pompat prin artere spre arcurile branhiale, în aorta dorsală şi în întregul corp. Două artere ombilicale duc înapoi sângele dezoxigenat de la embrion la placentă.

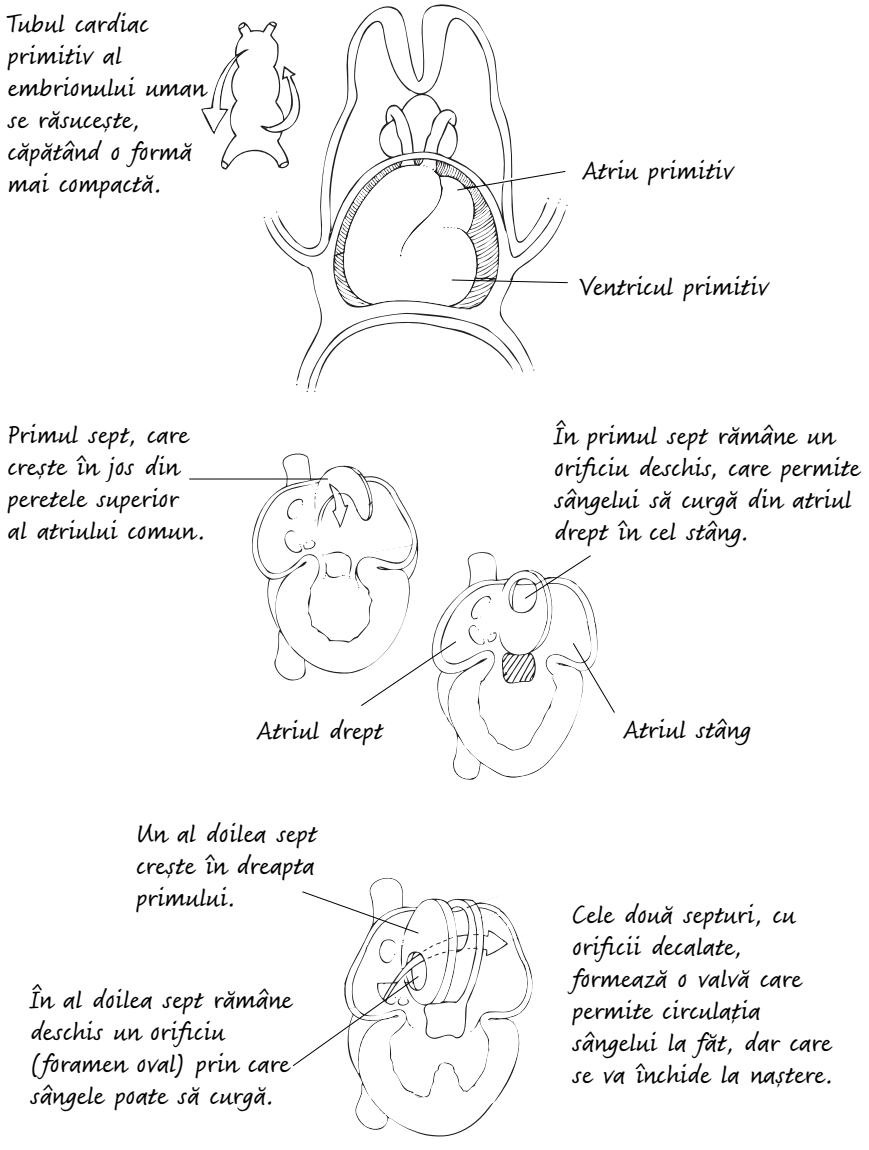
Circulația într-o singură buclă este utilă pentru făt, dar nu mai poate funcționa după naştere, când începi să respiri aer. Circulația simplă este adecvată peştelui adult, care îşi ia oxigenul din apă şi este înconjurat de apă. Inima lui poate pompa sângele cu o presiune destul de puternică ca să preia oxigenul din branhii *şi apoi* să circule prin restul corpului. Ca ființe care respiră aer, trăim într-un mediu cu presiune mult mai mică decât peştii, iar presiunea din plămâni scade şi mai mult decât presiunea atmosferică din jur când umflăm pieptul ca să inspirăm. Dacă ai avea un sistem circulator simplu, care să pompeze sângele cu suficientă presiune încât să treacă prin plămâni şi prin restul corpului, tensiunea sangvină din plămâni ar fi prea mare; ar împinge lichidul din capilarele cu pereți subțiri în compartimentele pline cu aer ale plămânilor.

De aceea avem circulație dublă: o parte a inimii pompează sângele spre plămâni la o presiune relativ scăzută, pentru a prelua oxigen şi a se întoarce apoi în partea cealaltă a inimii. La embrion, sângele este pompat cu o presiune mult mai mare, suficientă ca să

ajungă până la cap şi la vârful degetelor de la mâini şi de la picioare, prin toate capilarele, în toate țesuturile periferice ale corpului. În cazul afecțiunii numite hipertensiune pulmonară venoasă, partea stângă a inimii nu pompează sângele eficient, iar tensiunea vasculară din plămâni devine prea mare. Atunci, circulația dublă nu mai reuşeşte să împingă sângele prin plămâni fără ca acesta să se scurgă în compartimentele cu aer. Netratată, hipertensiunea pulmonară venoasă duce la umplerea treptată a plămânilor cu lichid. Compartimentele cu aer în care ar trebui să se facă schimbul de gaze se umplu, iar pacientul începe să se sufoce.

În stadiul de embrion, când pluteai într-un lac de lichid amniotic şi primeai tot oxigenul de la mamă prin vena ombilicală, nu respirai aer şi nu aveai nevoie de o circulație pulmonară la presiune scăzută. Aveai un sistem circulator simplu, ca peştii. Chiar şi inima ta semăna cu o inimă de peşte la început. La naştere însă inima trebuia să aibă câte un atriu şi câte un ventricul în partea stângă şi în cea dreaptă, dar să funcționeze în continuare într-un sistem circulator simplu, până când aveai să ieşi în lume şi să tragi în piept prima răsuflare. Aşadar, dezvoltarea embrionară a inimii este complicată şi face necesară crearea unei valve – o valvă care să permită sângelui să curgă dintr-o parte a inimii embrionare în cealaltă, dar care să se închidă la naştere, izolând partea stângă de cea dreaptă şi circulația pulmonară de cea sistemică.

Iată-te deci, după patru săptămâni de dezvoltare, cu inima ta tubulară, care bate, conectată prin arcurile aortice la aortele dorsale. Are mai multe compartimente, printre care un atriu primitiv şi un ventricul primitiv. Tubul tău cardiac începe să se răsucească în formă de S şi seamănă foarte mult în etapa aceasta cu o inimă de peşte. Dar răsucirea se accentuează, împingând atriul primitiv sub ventricul. Apoi partea stângă începe să se separe de cea dreaptă, prin creşterea unor pereți despărțitori în inimă, ca nişte uşi glisante. Ventriculul se desparte în două, ca şi calea de efluență care va forma aorta ascendentă şi trunchiul pulmonar. Dar diviziunea atriului embrionar este mai complexă. Din peretele superior al atriului creşte în jos un sept care, chiar înainte să ajungă la partea de jos, începe să se perforeze în partea superioară, lăsând o deschidere ovală, numită şi foramen, între atriul drept şi cel stâng. În stânga primului sept, creşte un al

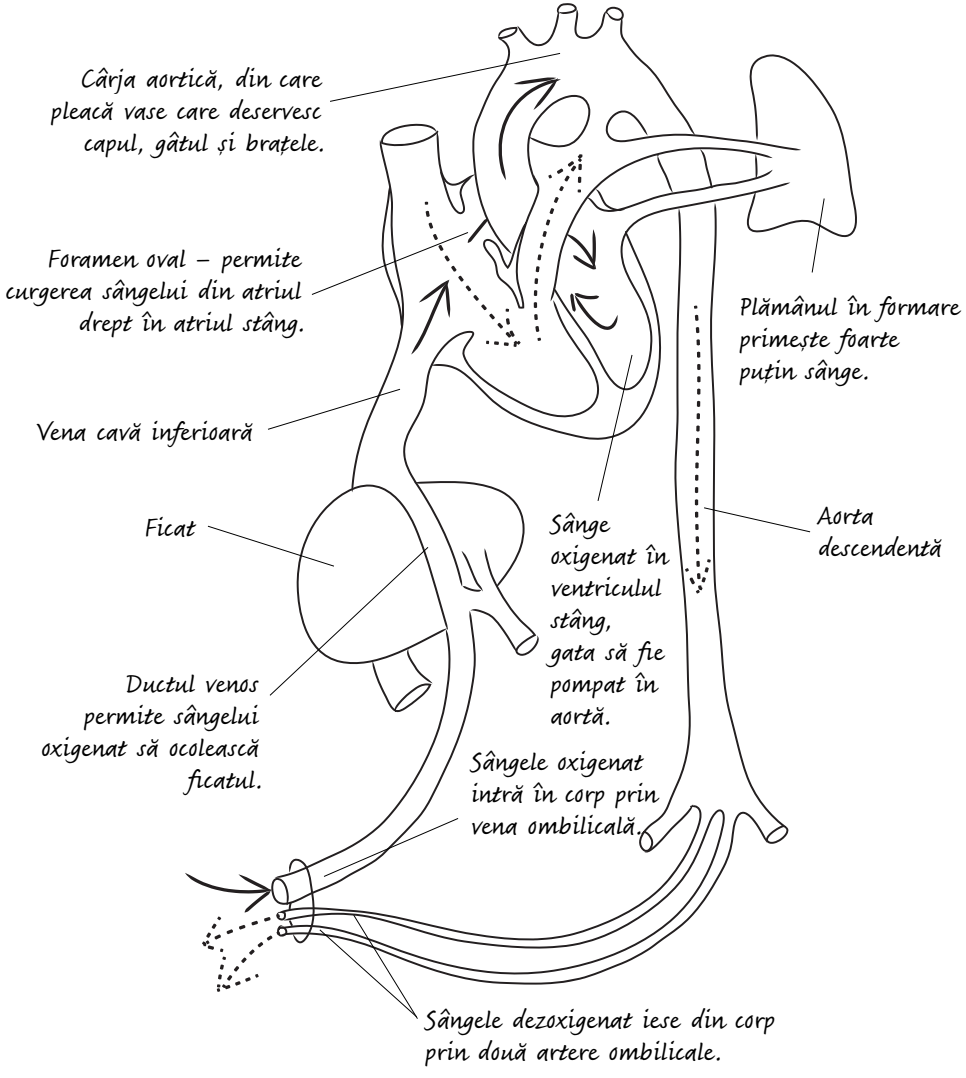

Tubul cardiac primitiv al embrionului uman se răsucește, căpătând o formă mai compactă.
Atriu primitiv
Ventricul primitiv
Primul sept, care crește în jos din peretele superior al atriului comun.
În primul sept rămâne un orificiu deschis, care permite sângelui să curgă din atriul drept în cel stâng.
Atriul drept
Atriul stâng
Un al doilea sept crește în dreapta primului.
În al doilea sept rămâne deschis un orificiu (foramen oval) prin care sângele poate să curgă.
Cele două septuri, cu orificii decalate, formează o valvă care permite circulația sângelui la făt, dar care se va închide la naștere.

Dezvoltarea inimii embrionare

doilea. Acesta nu ajunge până jos, ci lasă un orificiu deschis la bază. Mulțumită dispunerii acesteia inteligente, sângele poate curge în embrion dintr-o parte a inimii în cealaltă. În cele din urmă, sângele oxigenat

curge în inimă de la vena ombilicală prin vena cavă inferioară, în atriul drept, şi trece prin foramenul oval direct în atriul stâng.

Acest tip de circulație este potrivit pentru făt, dar, când nounăscutul trage pentru prima oară aer în piept, totul este gata să se transforme. În momentul acela, plămânii se lărgesc şi trag aer pentru


Cârja aortică, din care pleacă vase care deservesc capul, gâtul și brațele.
Foramen oval – permite curgerea sângelui din atriul drept în atriul stâng.
Vena cavă inferioară
Ficat
Ductul venos permite sângelui oxigenat să ocolească ficatul.
Sânge oxigenat în ventriculul stâng, gata să fie pompat în aortă.
Sângele oxigenat intră în corp prin vena ombilicală.
Plămânul în formare primește foarte puțin sânge.
Aorta descendentă
Sângele dezoxigenat iese din corp prin două artere ombilicale.

Circulația la făt

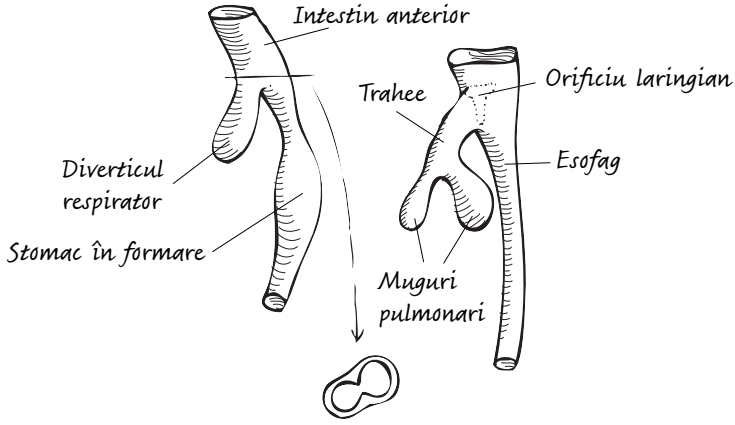
prima dată. Presiunea scăzută din plămânii expandați atrage şi sângele, iar un val de sânge oxigenat circulă rapid prin arterele pulmonare în atriul stâng. Creşterea presiunii din atriul stâng împinge al doilea sept spre primul, închizând valva dintre atrii – care acum funcționează separat. În lunile următoare, cele două septuri se vor contopi, dar inima adultă va păstra unele urme ale orificiilor inițiale. Dacă ai putea privi înăuntrul atriului drept, ca să vezi peretele care-l desparte de cel stâng, ai vedea o adâncitură ovală, sau fosă: urma lăsată de foramenul oval.

Dezvoltarea embrionară este complicată şi, într-un fel, e de mirare că nu eşuează mai des. Când se formează această valvă în inimă se pot întâmpla tot felul de accidente. Dacă septurile nu se suprapun, valva nu se mai poate închide bine şi lasă o gaură permanentă în inimă. O gaură minusculă nu contează prea mult şi de multe ori se închide singură, dar, dacă orificiul este mare, sângele va fi împins din atriul stâng în atriul drept, sporind presiunea în partea dreaptă a inimii – exact fenomenul împotriva căruia acționează circulația dublă. Tensiunea vasculară ridicată în plămâni e periculoasă şi, în cele din urmă, duce la schimbări permanente în inimă şi în vasele de sânge, care se adaptează la presiunea ridicată. Din fericire, acum putem identifica astfel de orificii – cu ajutorul unui tip de scanare cu ultrasunete numită ecocardiogramă – şi le putem corecta chirurgical. Unele se pot repara chiar prin chirurgie laparoscopică.

CUM CRESC PLĂMÂNII

Dacă inima începe să bată după doar patru săptămâni de dezvoltare embrionară şi joacă un rol atât de important la făt, programul de dezvoltare al plămânilor e mult mai lent. Nu degeaba: de ei nu va fi nevoie decât la aproximativ patruzeci de săptămâni după concepție, când copilul se naşte şi începe să respire aer, obținându-şi pentru prima oară singur oxigenul.

Pe când erai un disc germinativ embrionar mărunt, de doar câțiva milimetri lungime, şi te-ai rulat într-un set de doi cilindri concentrici, ai început să-ți formezi şi bazele intestinelor. Cilindrul interior, îngust, alcătuit din endoderm, este tubul tău intestinal primitiv. Din tubul acesta încep să ți se formeze plămânii în a cincea săptămână



Mugurii pulmonari se dezvoltă din intestinul anterior al embrionului.

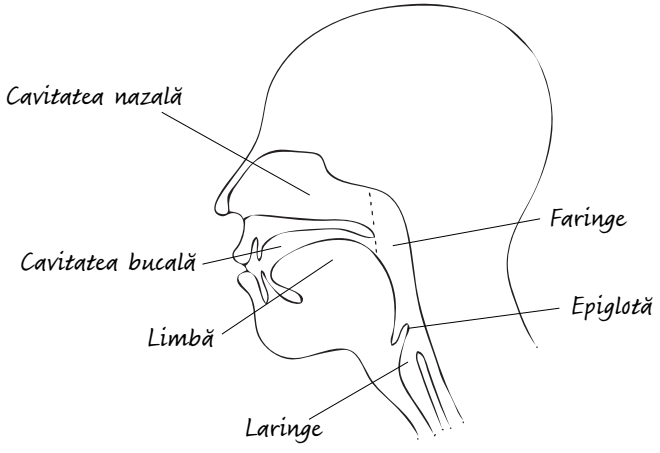
de dezvoltare. La început nu există decât o mică protuberanță, un mugur pulmonar, care creşte din capătul superior al tubului intestinal. Mugurele se măreşte şi se ramifică, apoi mugurele plămânului drept dezvoltă trei ramuri, iar cel stâng, două – astfel se formează tiparul plămânilor adulți, cu trei lobi în partea dreaptă şi doi în partea stângă. Din al şaselea arc arterial creşte în jurul mugurilor pulmonari în dezvoltare o rețea de vase de sânge, precursoarea circulației pulmonare. În săptămânile următoare, mugurii continuă să crească şi să se ramifice, divizându-se de vreo douăzeci de ori, până când la periferia arborelui respirator se formează mii de rămurele. La capătul acestora se formează începuturile alveolelor, structurile ca nişte bule în care se va face schimbul de gaze şi care cresc în mănunchiuri la capătul fiecărei rămurele, ca nişte mure minuscule.

Plămânii se dezvoltă atât de încet, încât pot apărea probleme dacă copilul se naşte prematur: dacă fătul părăseşte uterul prea devreme, se poate ca alveolele să fie prea imature ca să permită schimbul de gaze în plămâni. Celulele care căptuşesc săculeții aceştia minusculi sunt la început destul de rotunde, dar mai târziu se turtesc şi devin tot mai subțiri, iar capilarele din țesutul conjunctiv din jurul alveolelor se înmulțesc. În a 24-a săptămână de gestație, în jurul alveolelor există suficiente celule alveolare aplatizate şi suficiente capilare pentru ca fătul să aibă şansa să lupte pentru supraviețuire.

Un alt detaliu important în ceea ce priveşte plămânii imaturi îl constituie lipsa surfactantului, o substanță uleioasă secretată de unele celule alveolare, care contribuie la reducerea tensiunii de suprafață în alveole şi le împiedică colapsul. În lipsa surfactantului, există riscul de colaps din cauza modului de funcționare a plămânilor, care se lărgesc pentru a genera presiune negativă în raport cu presiunea aerului din afara corpului. Presiunea negativă trage aerul în interior, dar amenință să provoace şi colapsul alveolelor cu pereți subțiri. Cantitatea de surfactant din plămâni creşte în ultimul trimestru de sarcină, ca pregătire pentru naştere. În ultimele câteva săptămâni ale unei gestații normale (adică la 40 de săptămâni de la ultimul ciclu menstrual al mamei sau la 38 de săptămâni de la ziua concepției propriu-zise), în plămâni se dezvoltă alveole mature, care vor continua să crească timp de circa optsprezece luni după naştere.

Poate părea ciudat că plămânii înmuguresc din canalul digestiv, dar gândeşte-te puțin la anatomia ta. Prima parte a canalului respirator, laringele, se leagă de faringele din gât. Faringele este un tub muscular care coboară din spatele nasului şi al cavităților bucale până la esofag. Cu alte cuvinte, tractul respirator este legat *şi acum* de tractul digestiv.

Toate ființele care trăiesc pe uscat, cu alte cuvinte, toate tetrapodele la care ne-am putea gândi (mai precis, orice amfibian, reptilă, pasăre



Laringele este un tub atașat de faringe.

sau mamifer), îşi iau oxigenul din aer. Unii amfibieni, inclusiv cel mai mare grup de salamandre, absorb oxigenul prin piele, dar cele mai multe animale terestre au dezvoltat o altă metodă de oxigenare a sângelui: prin plămâni. Pare enorm acest salt de la traiul acvatic, în care extragi oxigenul din apă cu ajutorul branhiilor, la a respira aer cu ajutorul plămânilor. Dar o analiză mai atentă a anatomiei peştilor face trecerea să pară mai puțin intimidantă, fiindcă săculeții cu aer, care se formează ca nişte proeminențe ale tubului intestinal primitiv al embrionului, nu se întâlnesc doar la tetrapodele care respiră aer.

Majoritatea peştilor osoşi, de la guvizi la sturioni, au o vezică înotătoare. E vorba de o băşică umplută cu aer, care se dezvoltă la embrionul de peşte ca proeminență a tubului intestinal. Mai mult, pereții vezicii înotătoare conțin rețele de vase de sânge mici, care permit difuziunea gazelor din sânge în vezică şi înapoi în sânge. La mulți peşti, legătura originală dintre tubul intestinal şi vezica înotătoare s-a pierdut, dar la câteva specii, printre care unele soiuri de crap, păstrăv, hering şi țipar, canalul rămâne deschis. Aşadar, gazele în exces din vezica înotătoare pot trece în faringe şi pot ieşi din gura peştelui sub formă de bule, iar peştii aceştia îşi pot alimenta vezica înotătoare luând o gură de aer la suprafață. Cu alte cuvinte, tipul acesta de vezică înotătoare poate funcționa ca un plămân, permițând un schimb redus de gaze. Dintr-odată, trecerea de la peştii care respiră în apă la patrupedele care respiră aer pare mai puțin improbabilă.

La unele specii din ziua de azi, legătura dintre respirația acvatică a peştilor şi respirația aeriană a patrupedelor este şi mai clară. Săculeții cu aer ai unui anumit grup de peşti permit un schimb de gaze atât de eficient, încât avem toate motivele să-i numim plămâni; au chiar şi alveole cu aer minuscule, ca plămânii noştri. Speciilor acestora li se spune (după cum poate ai ghicit) peşti pulmonați.[1] (Mai sunt şi alți peşti cu plămâni. Nişte rude mai îndepărtate ale noastre, din familia Polypteridae, cu înotătoare cu raze osoase, au plămâni, însă aceştia sunt netezi pe interior, nu căptuşiți cu mici alveole, ca ai noştri sau ai peştilor pulmonați.)

Poate nu e de mirare că, dintre peştii osoşi, peştii pulmonați sunt cei mai apropiați de patrupede. În prezent mai există trei grupuri de peşti pulmonați, în Africa, Brazilia şi Australia. Toți au atât branhii,

1. Mai cunoscuți sub denumirea generică de „peşti dipnoi“ (n. tr.).

cât şi plămâni, dar, deşi cei australieni îşi pot oxigena sângele prin branhii, cei africani şi cei brazilieni s-ar sufoca dacă ar rămâne sub apă prea mult. Sunt devotați respirației pe cale aeriană, moştenită de la strămoşi, asemenea verilor lor amfibieni. La fel ca aceştia din urmă, peştii pulmonați au plămâni care comunică cu faringele şi sunt alimentați cu sânge din al şaselea arc aortic. Modul acesta de a respira ne pare foarte familiar, fiindcă e, în esență, similar cu al nostru. Spre deosebire de alți peşti (dar asemenea, în esență, similar cu al amfibieniilor), peştii pulmonați au o inimă în care atriul şi ventriculul sunt despărțiți, parțial, în două. Sângele oxigenat care vine dinspre plămâni rămâne, în mare parte, separat de sângele dezoxigenat care se întoarce în inimă din restul corpului. Calea efluentă care porneşte din inimă are o valvă în spirală ce contribuie la separarea celor două fluxuri de sânge şi trimite sângele sărac în oxigen în arcurile aortice inferioare, care îl duc spre plămâni şi branhii, iar sângele oxigenat – în arcurile superioare, de unde va fi trimis spre restul corpului.

Peştii pulmonați sunt exemplul viu care ne arată cum au apărut plămânii animalelor terestre. În plus, plămânii lor ilustrează fantastic de bine tendința evoluției de a recicla şi de a refolosi, cooptând structuri (şi gene) deja existente pentru funcții noi. Uneori, structurile şi genele existente se dublează înainte să preia roluri noi. În ADN-ul nostru, genele se dublează ca să aibă libertatea de a adopta alte roluri, dar un proces similar se poate manifesta şi la structuri anatomice destul de importante, precum articulația mandibulară dublă a mamiferelor timpurii, care a permis oaselor din jurul articulației inițiale să migreze în ureche şi să devină osicule auditive. O altă metodă prin care structurile se pot reorganiza este să ajungă să îndeplinească, printr-o întâmplare fericită, un rol nou chiar în timp ce vechea atribuție devine redundantă. Un săculeț cu aer ataşat de intestin, care *exista deja* la strămoşii noştri din rândul peştilor care respirau în apă, s-a dovedit esențial pentru respirația aeriană când strămoşii noştri patrupezi s-au târât pe uscat. Evoluției îi place să recicleze, să profite la maximum de ocaziile neprevăzute.

INTESTINE ŞI SACI VITELINI

LEGĂTURILE CU STRĂMOŞII OVIPARI ŞI CU PRIMATELE ANTROPOIDE FRUGIVORE

„Recunoaştem că semănăm cu maimuțele, dar rareori ne dăm seama că suntem maimuțe.“

RICHARD DAWKINS

DEZVOLTAREA ŞI CONVOLUȚIILE TUBULUI INTESTINAL

Înainte să înmugurească anexe interesante precum vezica înotătoare sau plămânii, intestinul embrionului (fie el de peşte, pasăre de curte sau om) este un simplu tub format din endoderm: stratul interior al corpului alcătuit din cilindri concentrici. La început, tubul este închis la capete, fără vreo deschidere la gură sau la anus. În mijloc, se leagă de sacul vitelin, situat în afara corpului embrionului.

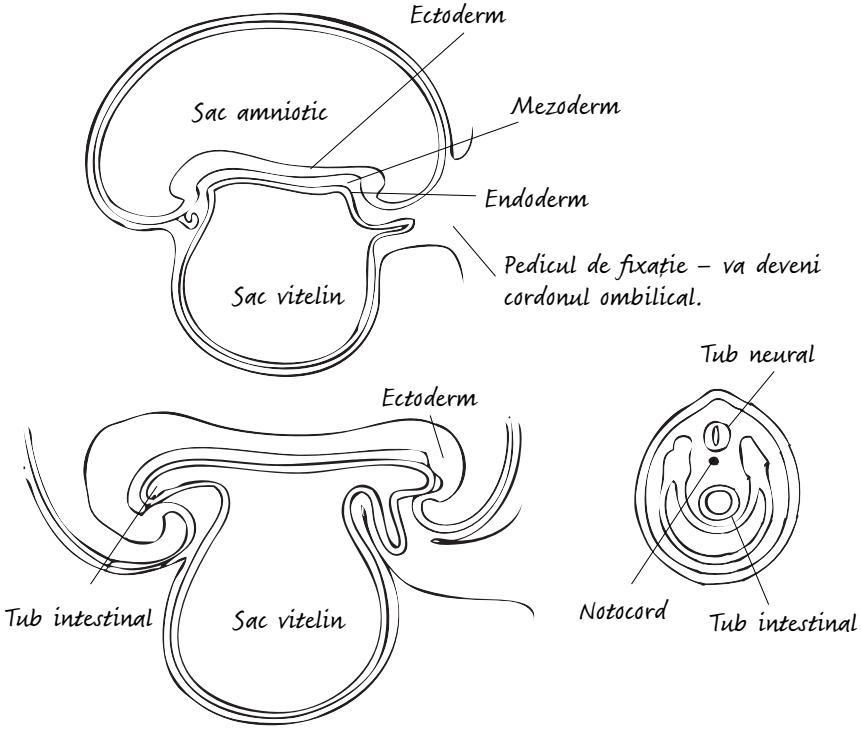
Existența sacului vitelin la embrionul uman este şi ea un vestigiu al evoluției, care ne aminteşte că ne tragem din strămoşi care făceau ouă. La embrionii care se dezvoltă în ou şi trebuie să se descurce în afara corpului mamei, sacul vitelin este mare şi constituie o sursă importantă de substanțe nutritive. Gălbenuşul unui ou de găină este foarte mare în comparație cu puiul-embrion în primele stadii de dezvoltare, fiindcă trebuie să-l hrănească până când eclozează şi începe să-şi caute singur hrana. La mamiferele placentare (unde ne încadrăm şi noi), la care embrionii rămân în corpul mamei mai mult timp, placenta îi va asigura embrionului hrana şi oxigenul şi îi va elimina deşeurile. Aici, sacul vitelin nu mai are nici o funcție, dar tot se dezvoltă. La embrionul uman aflat în primele stadii de creştere, sacul vitelin este foarte mic în comparație cu gălbenuşul embrionului de pasăre, iar în cele din urmă degenerează până când, la naştere, dispare complet.

Sacul vitelin se dezvoltă din cavitatea inițială a blastocistului – ghemul de celule gol pe dinăuntru care se formează în prima săptămână de gestație şi se ataşează de peretele uterului. Când embrionul ajunge în faza de „sendviş cu gem“, sub formă de disc trilaminar, sacul vitelin se află lângă stratul inferior al discului, endodermul. De fapt, celulele din endoderm se răspândesc şi în interiorul sacului

vitelin, pe care îl căptuşesc. Apoi, discul germinativ embrionar se rulează în cilindrii concentrici, iar endodermul formează cilindrul interior: tubul intestinal. Legătura cu sacul vitelin se păstrează şi, în cele din urmă, devine un canal îngust, numit canalul vitelin.

Tubul intestinal se împarte în trei: intestinul anterior, spre cap, intestinul mijlociu, de care se prinde sacul vitelin, şi intestinul posterior, către coada embrionului. Din intestinul anterior se formează cavitatea bucală, faringele – inclusiv mugurele din care vor creşte laringele, traheea şi plămânii, esofagul şi stomacul.

Intestinul mijlociu se lungeşte enorm, formând ansele intestinului subțire şi jumătate din intestinul gros, pe când intestinul posterior

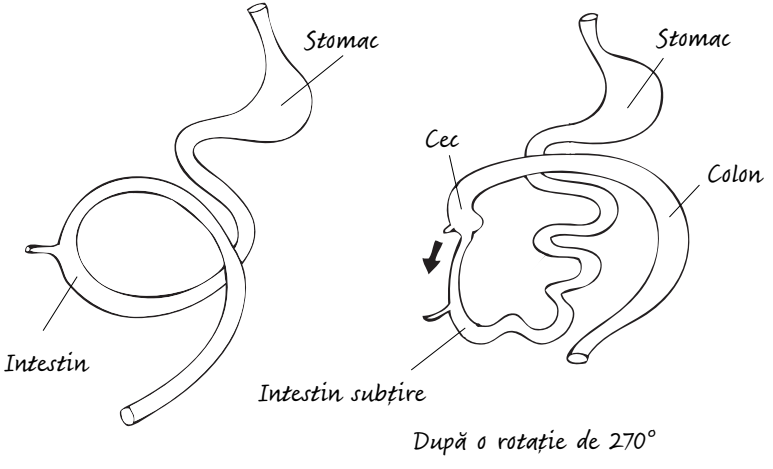


Desenul de sus reprezintă secțiunea longitudinală a embrionului într-un stadiu incipient de rulare. Desenul din stânga jos arată o secțiune similară într-o fază ulterioară, iar cel din dreapta reprezintă secțiunea transversală a embrionului în aceeași etapă de dezvoltare.

alcătuieşte restul intestinului gros, până la rect şi canalul anal, iar o porțiune din el se separă, formând vezica urinară.

Stomacul începe să apară în a cincea săptămână de dezvoltare embrionară, ca o umflătură a tubului intestinal, apoi începe să crească ca o banană, mai mult într-o parte decât în cealaltă, ceea ce îi dă o formă curbată. Apoi stomacul devine un sac încăpător, care seamănă mult cu forma lui la maturitate, când, pe lângă digestie, va şi păstra în el alimentele, eliberându-le puțin câte puțin ca să fie digerate mai departe în intestine. Organele digestive accesorii se ramifică din intestinul anterior: ficatul, vezica biliară şi pancreasul sunt, la început, ramuri ale tubului intestinal. Organele acestea îşi vor păstra legătura inițială cu tubul intestinal: legăturile devin canalele prin care îşi varsă secrețiile (lichidul biliar, de la ficat, şi enzimele digestive, de la pancreas) în intestinul subțire.

După locul în care apar mugurele hepatic şi cel pancreatic, intestinul mijlociu se alungeşte. Creşte atât de repede, încât corpul embrionului nu reuşeşte să țină pasul: intestinul ajunge mai lung decât cavitatea abdominală a embrionului şi iese în cordonul ombilical. Cu alte cuvinte, intestinul se herniază. Aşadar, dacă vă întreabă cineva dacă ați avut vreodată hernie, şi în mod normal ați spune că nu, aflați că răspunsul este „da“ pentru toată lumea. Cu toții am trecut prin acest proces, în care intestinul embrionar a ieşit prin partea din față



Intestinul mijlociu se alungește și se răsucește.

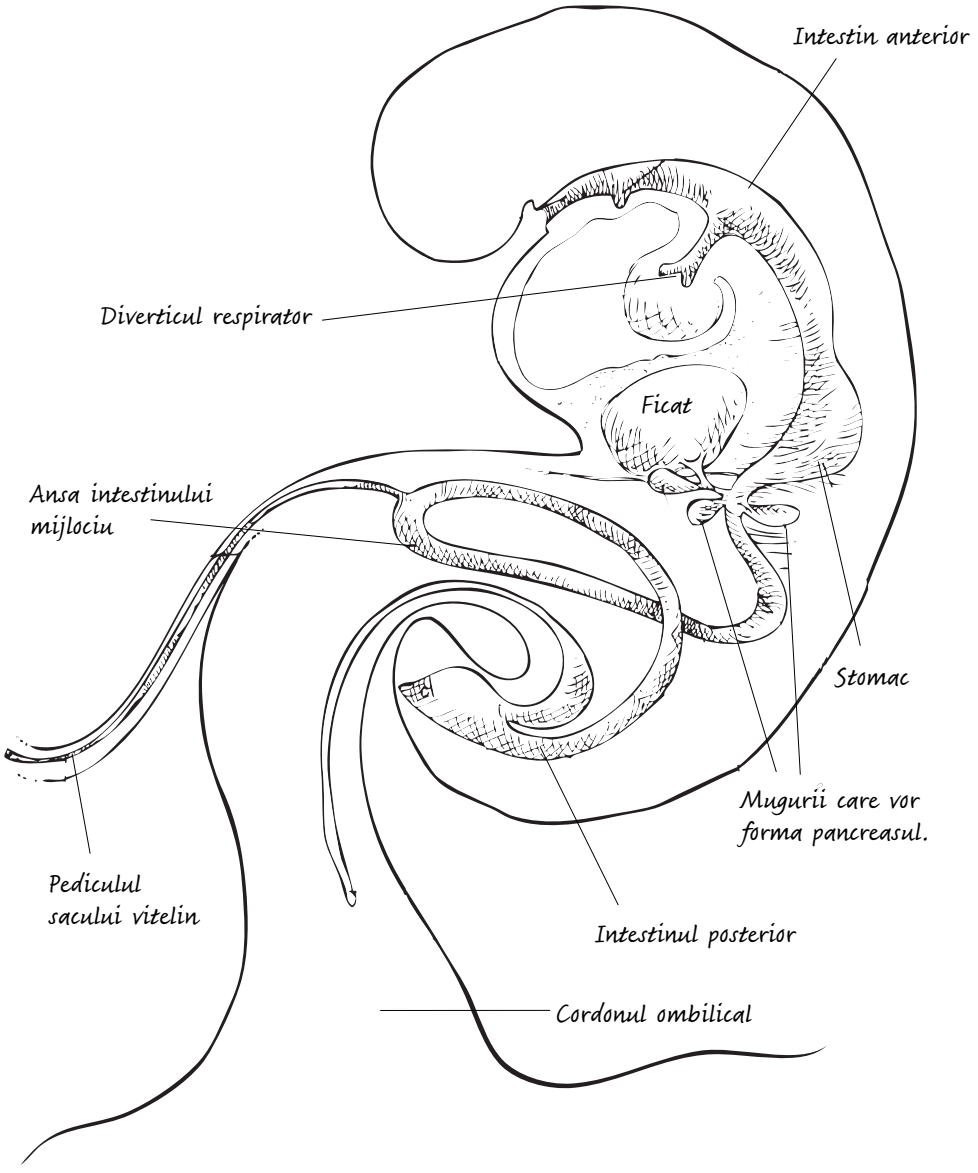
a peretelui abdominal, începând cu a cincea săptămână de dezvoltare. Din fericire, în enorma majoritate a cazurilor, ansa externă a intestinului revine în cavitatea abdominală pe măsură ce embrionul continuă să crească, după opt săptămâni de dezvoltare, când este deja făt. În timp ce bucla de intestin iese în afară şi apoi se retrage iar în corp, se roteşte în aşa fel încât brațul său inferior ajunge în fața brațului superior. Se formează astfel dispunerea vizibilă şi în abdomenul adult: colonul transvers, partea din intestinul gros aşezată orizontal în cavitatea abdominală, se află în fața primei părți a intestinului subțire, duodenul.

La fel ca la orice serie de evenimente din embriologie, şi în dezvoltarea intestinului pot apărea probleme. Până în a douăsprezecea săptămână de dezvoltare, intestinele ar trebui să revină în cavitatea abdominală, dar, ocazional (la aproximativ patru din zece mii de nounăscuți), intestinul herniat nu se retrage, iar fătul rămâne cu o hernie persistentă, numită omfalocel (din cuvintele greceşti pentru „buric“ şi „cavitate“). Tipul acesta de defect se depistează de obicei la ecografia de douăzeci de săptămâni. Când se naşte copilul, hernia arată ca un sac translucid care iese în afară din cordonul ombilical, în care se văd anse intestinale. Bebeluşii cu omfalocel necesită o operație corectoare pentru reintroducerea intestinului în abdomen şi închiderea orificiului.

Uneori, intestinele se întorc cu bine în cavitatea abdominală, dar nu reuşesc rotația normală, de 270°, prin care colonul transvers ajunge în fața duodenului. Unele astfel de cazuri de rotație defectuoasă trec neobservate şi sunt asimptomatice, dar altele pot cauza probleme, cum ar fi o răsucire inadecvată a intestinului, care obturează tubul şi împiedică alimentarea cu sânge.

O CĂLĂTORIE FANTASTICĂ

Ştiu că intestinele mele au o rotație uşor defectuoasă. În 2007 am acceptat, ezitând, o endoscopie cu videocapsulă – aşa-numita *pillcam*. Am mers la spitalul Selly Oak din Birmingham, unde doctorul gastroenterolog Roy Cockel era gata să mă ajute să-mi văd propriile intestine, cu ajutorul unei camere minuscule închise într-o capsulă galbenă.



Tubul intestinal în formare, la începutul celei de-a șasea săptămâni de dezvoltare, cu stomacul tot mai bombat, cu mugurii din care se vor forma ficatul și pancreasul și cu ansa intestinului mijlociu.

Când au început să folosească videocapsula, Roy şi colegii lui au reuşit să vadă părți ale intestinelor care până atunci le fuseseră inaccesibile. Endoscoapele ca un tub, care se coboară prin gură şi esofag până în stomac, nu văd decât prima parte a intestinului subțire, duodenul (genul acesta de investigație poartă numele nemaipomenit de lung de esofagogastroduodenoscopie. Din fericire, se foloseşte mai des abrevierea EGD). Endoscopul se poate introduce şi prin capătul celălalt al tubului intestinal, prin canalul anal, în rect şi în colon, până la capătul intestinului mic – procedura se numeşte colonoscopie. Dar lungimea enormă a intestinului mic (are câțiva metri) dintre duoden şi capătul ileonului rămânea de neexplorat pentru camerele flexibile. Doctorii văd ansele intestinului subțire la tomografii sau RMN-uri şi introduc în ele un mediu de contrast – ca să se vadă lumenul, sau spațiul din interiorul intestinului –, dar nu pot privi în amănunt căptuşeala părții acesteia din intestin. Toate acestea s-au schimbat odată cu invenția videocapsulei.

Când Roy Cockel a început să folosească astfel de camere la spitalul Selly Oak, *Birmingham Post* a titrat descoperirea şi a comparat-o cu experiența echipajului submarinului din filmul *Fantastic Voyage* din 1966 (în care o echipă de doctori se îmbarcă într-un submarin, sunt miniaturizați şi apoi injectați în fluxul sangvin al unui pacient pentru a ajunge la creier şi a distruge un cheag de sânge). Endoscopia cu videocapsulă este poate mai puțin spectaculoasă şi mai previzibilă (în acest scenariu nu există submarine care amenință să revină la mărimea normală), dar ne-a permis să vedem interiorul întregului intestin subțire. Faptul este de mare ajutor în cazul pacienților care suferă de sângerări intestinale, fiindcă acum poate fi identificată precis sursa sângerării.

Dr Roy Cockel a început procedura aplicându-mi mici electrozi pe abdomen, după care a conectat dispozitivul de înregistrare a datelor, care avea să urmărească şi să înregistreze imaginile de la videocapsulă. Apoi mi-a arătat camera în sine. Era puțin mai mare decât mă aşteptam, dar nu cu mult mai mare decât o capsulă mare de antibiotic sau de vitamine. Cât a ținut-o între arătător şi degetul mare, am observat că clipea (bineînțeles, fotografia cu bliț este esențială în întunericul intestinelor) de două ori pe secundă. Urma să clipească şi să facă fotografii, câte două pe secundă, pe toată lungimea intestinelor mele, până avea să acumuleze 50 000 de imagini,

pe care le puteam urmări live pe un laptop. Am văzut mai întâi imagini cu gura mea deschisă, apoi am înghițit capsula uşor cu puțină apă. După câteva minute, videocapsula trecuse deja din stomac în duoden – prima parte a intestinului subțire. Nu mâncasem nimic şi nu băusem nimic altceva decât apă timp de aproape douăzeci şi patru de ore, aşa că m-am bucurat să văd că imaginile erau minunat de clare. Căptuşeala intestinului era de un roz trandafiriu şi avea o textură puțin pufoasă – aspectul catifelat i-l dădeau minusculele proeminențe ca nişte degete ale mucoasei.

În intestin, singura anomalie a căptuşelii era ceva ce nu poate fi descris altfel decât ca un coş roşu, care însă nu avea un aspect îngrijorător. Mai interesant mi s-a părut traseul videocapsulei prin intestine, pe parcursul căruia am observat ceva neobişnuit. Duodenul meu nu e ca al majorității oamenilor; al tău probabil se curbează frumos în formă de C, apoi se ascunde în spatele stomacului şi se întoarce înainte, devenind a doua parte a intestinului mic, jejunul. Al meu, nu. Duodenul meu, aşa cum a arătat videocapsula, continuă în jos, iar ansele jejunului încep şi mai jos, în partea dreaptă a abdomenului, în timp ce ale tale se află (probabil) în partea mijlocie şi superioară.

Au trecut trei ore până ce videocapsula şi-a terminat drumul prin intestinul meu subțire, ajutată de contracțiile regulate ale peretelui de muşchi al intestinelor, care de obicei împing înainte bolul alimentar. Când a trecut în intestinul gros, imaginea s-a înceţoşat – nu mă înfometasem destul de mult încât să-mi golesc segmentul acesta de intestin.

Am eliminat capsula după douăzeci şi patru de ore, aşa cum era prevăzut, şi, fiindcă mă fascina camera miniaturală care-şi încheiase călătoria fantastică, am recuperat-o (cu mănuşi de plastic, bineînțeles), am curățat-o şi am dezinfectat-o. A stat pe pervazul din dormitor multă vreme, ca suvenir din călătoria mea fotografică prin propriile intestine, până când soțul meu a hotărât că era prea mult chiar şi pentru el. (Acum țin capsula într-o cutie. Mă simt ciudat de ataşată de ea şi nu mă văd în stare s-o arunc.)

DESPRE „NEUNICITATEA“ INTESTINELOR UMANE

La nivel elementar, intestinele umane nu diferă prea mult de cele ale majorității mamiferelor cu dietă generalistă, care consumă, omnivore

fiind, orice, de la carne la plante. Îmi amintesc când am disecat pentru prima dată abdomenul unui câine la Catedra de anatomie a Bristol University, unde mă duceam din când în când să le predau studenților la medicină veterinară şi umană. Am fost uimită să văd cât de mult semănau intestinele câinelui cu cele umane, pe care le cunoşteam mai bine. Intestinele canine erau mai scurte, dar în alte privințe asemănarea era izbitoare. În general, mamiferele strict vegetariene au intestinele cele mai lungi, mai complicate şi mai întortocheate. Acestea au nevoie de spații (cuve mari de fermentare) în care să proceseze un amestec impresionant de frunze mestecate şi de bacterii, ca să profite la maximum de hrana lor săracă. La unele erbivore, cuvele de fermentare se află în intestinul anterior, cum este cazul stomacului masiv şi compartimentat al vacilor. Alte erbivore fermentează hrana mai spre sfârşitul călătoriei prin intestin. Caii au un cec încăpător – un sac uriaş, în formă de trabuc, prins de baza intestinului mare, în partea inferioară a abdomenului, care ajunge până la stern. Noi, oamenii, nu avem nici stomac compartimentat, nici cec încăpător; de fapt, segmentul din abdomen căruia i se spune „cec“ este doar începutul colonului, şi nu echivalentul propriu-zis al cecului altor animale. Structura echivalentă, sau omoloagă, este la noi apendicele, un simplu tub îngust care conține celule imunitare, dar mult prea mic ca să facă ceva util în sensul fermentării materiei vegetale. Intestinele noastre sunt adecvate unui regim omnivor, moştenite fiind de la strămoşii noştri din rândul primatelor, al căror regim alimentar includea ceva puțin mai hrănitor decât frunzele: fructele.

Dar, deşi intestinele umane seamănă cu intestinele oricărei primate antropoide frugivore, se crede de multă vreme că ele prezintă o deosebire importantă, care a avut poate un rol major în evoluția omului. Particularitatea aceasta nu ține de vreo specializare anume a intestinelor, ci de mărimea lor. Raportat la mărimea corpului, oamenii au intestine mici. În anii 1990 s-a făcut legătura între observația aceasta şi faptul că oamenii au creierul foarte mare; astfel s-a născut teoria țesutului „scump“.

Nu încape îndoială că mărimea creierului uman e cu totul aparte şi că, într-un fel, stă la baza succesului nostru ca specie. Toate abilitățile care ne disting de celelalte specii, inclusiv capacitatea noastră de a ne imita unii pe alții şi de a coopera prin acte de cultură, trebuie să depindă într-un fel sau altul de organul acesta enorm. Creierul

este însă foarte pretenţios. Consumă enorm de multă energie – cam 20% din necesarul zilnic de energie –, deşi nu constituie decât 2% din masa corporală. Se pare că strămoşii noştri au găsit o metodă de a plăti acest ţesut „scump“ dinăuntrul craniului – ori sporindu-şi aportul zilnic de energie, ori făcând economie în altă parte.

Dacă strămoşii noştri şi chiar şi noi, cei de azi, am plăti pentru creier printr-un consum mai mare de energie, corpul nostru ar trebui să facă faţă acestui consum accelerându-şi metabolismul. Omul de statură medie, cu o greutate de aproximativ 65 kg, are un creier de 1,3 kg – mai mare cu un kilogram decât ar fi de aşteptat la un mamifer de o mărime echivalentă. Rata metabolică a corpului este de 1W/kg, dar ţesutul cerebral este mult mai lacom şi necesită 11W/kg. Aşadar, un kilogram de creier în plus trebuie să ne coste cel puţin 10W în plus. Cifra aceasta ar trebui să se reflecte în rata metabolică, dar nu există nici un indiciu că rata noastră metabolică ar fi mai mare decât cea normală pentru un mamifer de mărimea noastră.

La jumătatea anilor 1990, Leslie Aiello şi Christopher Dean, fizioantropologi, au identificat enigma şi au venit cu o soluţie. Ei au propus ideea că dezvoltarea creierului lacom de energie la hominizi ar fi fost contrabalansată prin reducerea altui ţesut „scump“. Când au analizat studiile privind compoziţia corpului uman, în speţă mărimea relativă a diverselor organe, li s-a părut că găsiseră răspunsul. Dacă unele organe, ca inima, ficatul şi rinichii, aveau mărimea standard pentru o primată de 65 kg, intestinele erau mult mai mici. Aiello şi Dean au propus ideea că mărimea creierului şi a intestinului erau legate prin „coevoluţie“, astfel încât, pe măsură ce creierul creştea, intestinele se micşorau, iar rata metabolică rămânea aproape la fel. Au mers chiar mai departe şi au sugerat că reducerea masei intestinelor umane avea legătură cu schimbarea regimului alimentar, cu momentul în care primii hominizi au început să mănânce carne. Una dintre diferenţele principale între intestinele de erbivor şi cele de carnivor este aceea că acestea din urmă sunt de obicei scurte. Dacă ai un regim alimentar de calitate, uşor de digerat, nu îţi trebuie intestine atât de lungi. Mai târziu e posibil ca homininii să fi economisit energie externalizând parţial efortul de a digera – gătind alimentele înainte să le consume. Astfel, energia economisită prin scurtarea intestinelor putea fi folosită eficient în dezvoltarea unui creier mare.

Aiello şi Dean nu au fost primii cercetători care au observat legătura între regimul alimentar şi mărimea creierului, dar autorii dinaintea lor se concentraseră asupra implicațiilor creierului mare în găsirea hranei, nu asupra consumului energetic al creierului şi al intestinelor. Animalele cu un regim alimentar de calitate scăzută, bazat pe frunze, au nevoie de intestine foarte lungi; intestinele omnivorelor sunt, comparativ, scurte, iar ale carnivorelor – şi mai scurte. Cum frunzele sunt îndeobşte mai uşor de păcălit decât prada animată, carnivorele tind să aibă creiere mai mari decât animalele erbivore. Aşadar, ne-am putea aştepta ca intestinele scurte să fie asociate cu creierul mai mare şi viceversa. Dar Aiello şi Dean mergeau chiar mai departe, considerând că un regim alimentar bogat în energie şi, deci, intestinele scurte erau *necesare* creşterii în dimensiune a creierului.

La vremea aceea, ipoteza a atras multe critici. Unii comentatori au semnalat faptul că teoria nu explica *de ce* a crescut creierul hominizilor, ci doar *cum* se presupune că ar fi putut creşte, consumând multă energie în plus. Critica era îndreptățită, însă Aiello şi Dean nici nu pretindeau că ar fi descoperit Sfântul Graal al paleoantropologiei: motivul pentru care creierul nostru a căpătat proporții atât de mari. Intestinele mai mici erau doar o *conditio sine qua non*, în lipsa căreia expansiunea creierului n-ar fi fost posibilă.

Ipoteza a căpătat greutate când cercetătorii au descoperit că legătura între intestinele mici şi creierul mare, şi viceversa, se regăseşte la mai multe specii de primate şi la cel puțin câteva specii de peşti. Însă corelația nu implică şi cauzalitatea. Nu este deloc limpede că ne *trebuie* intestine mici ca să avem creierul mare. Din nou, e adevărat că creierul mare este asociat cu un regim bazat pe alimente de calitate, mai greu de obținut, care pot fi digerate eficient cu intestine relativ scurte, dar asta nu înseamnă că *ne trebuie* intestine scurte ca să economisim energie pentru creier. Liliecii, de pildă, sunt un exemplu în acest sens, fiindcă unii dintre ei au creierul mare şi intestinele lungi, iar alții au creierul mic şi intestinele scurte. Din nou, faptul pare să țină de rolul creierului în obținerea hranei. Liliecii cu intestine mari sunt de obicei frugivori, dar au creierul mare, fiindcă zonele responsabile de vedere şi miros s-au mărit, în mod necesar, ca să poată găsi fructele care le plac. Relația dintre creier şi intestin este departe de a fi simplă, iar unii cercetători presupun că mărimea

creierului şi a intestinelor variază atât de mult de la un animal la altul, încât sunt practic independente una de cealaltă.

Ipoteza țesutului „scump“ a atras şi alte critici încă de la publicare. S-a propus ideea că economia de energie necesară expansiunii creierului s-ar fi făcut în altă parte, prin reducerea masei corporale, printr-o viață mai puțin activă sau prin prelungirea orelor de somn. Poate este mai plauzibil din punct de vedere evolutiv să ne imaginăm că creierul mare a apărut înainte să se scurteze intestinele: un creier mai mare ar fi înlesnit dezvoltarea unor aptitudini (ca vânatul şi gătitul) care, la rândul lor, le-a permis strămoşilor noştri să-şi procure hrană de mai bună calitate, ceea ce ar fi dus, *în consecință*, la micşorarea intestinelor. Există chiar unele dovezi, provenite de la diverse animale, potrivit cărora dimensiunea intestinelor se poate schimba în cursul vieții animalului, dacă acesta îşi schimbă regimul alimentar.

Unii cercetători puneau la îndoială însăşi faptul că intestinele umane *ar fi* mici. Mărimea relativă a organelor umane fusese determinată pe baza unor probe foarte restrânse, iar oamenii de azi prezintă variații anatomice mari. Este discutabilă şi modalitatea în care s-au făcut comparațiile între oameni şi alte primate, pentru a se determina dimensiunea medie a intestinelor umane. Majoritatea primatelor se pot clasifica, în linii foarte generale, în consumatoare de fructe şi consumatoare de frunze. Primatele antropoide sunt, în mare, consumatoare de fructe, aşadar au intestine mai mici decât consumatoarele de frunze, cel puțin dacă luăm în considerare mărimea suprafeței. Aşadar, dacă punem laolaltă toate primatele în încercarea de a estima cât de mari ar trebui să fie intestinele primatei X, iar primata X se întâmplă să fie frugivoră (sau, în fond, omnivoră), vom face o supraestimare. Într-un grafic al suprafeței intestinale în raport cu mărimea corpului, oamenii se încadrează perfect pe axa frugivor/omnivor – exact acolo unde ne-am aştepta să se situeze o primată antropoidă.

Care este deci concluzia? E drept că nu e deloc sigur că intestinele noastre chiar sunt mai scurte decât ar fi de aşteptat la o primată antropoidă frugivoră sau omnivoră de mărimea noastră. Dar dacă ipoteza lui Aiello şi a lui Dean nu este corectă, cum compensăm pentru un creier atât de mare, fără să ne reducem rata metabolică?

Într-un studiu recent apărut în 2011, s-a analizat un volum mare de date noi, provenind de la 191 de specimene din 100 de specii de mamifere. În primul rând, studiul nu a descoperit nici o dovadă care să susțină ipoteza țesutului „scump“: nu exista nici o asociere între mărimea creierului şi a altor organe „scumpe“. Cercetătorii au descoperit însă că se petrecea ceva interesant cu un alt tip de țesut, unul mai puțin costisitor: mărimea creierului părea să fie invers proporțională cu cantitatea de grăsime din corp; cu alte cuvinte, animalele grase tindeau să aibă creierul mic şi viceversa. A fost propusă ideea că această corelație apare, fiindcă animalele, în general, se bazează ori pe inteligență, *ori* pe rezerve considerabile de energie ca să supraviețuiască. Mai mult, echilibrul dintre creier şi grăsime se poate explica printr-un compromis energetic. Țesutul adipos în sine nu consumă multă energie, dar poate deveni costisitor pentru animal, care e nevoit să care greutatea suplimentară. În sfârşit, cercetătorilor li se părea că descoperiseră soluția enigmei umane legate de creierul mare şi de rata metabolică medie. Oamenii sunt altfel decât celelalte mamifere, fiindcă au creierul mare *şi* o cantitate de grăsime relativ mare în comparație cu alte primate antropoide, şi se pare că grăsimea în plus (care nu consumă multă energie) maschează efectele investirii într-un creier mare şi costisitor. Dacă luăm în considerare masa corporală minus grăsimea, rata metabolică de bază a omului *chiar este* ridicată în comparație cu a altor antropoide. Dacă adăugăm din nou grăsimea, rata metabolică medie a întregului corp scade. Aşadar, faptul că rata metabolismului uman nu este mai mare decât media, în ciuda creierului foarte mare, este explicat, sau cel puțin acoperit, de grăsime. Deşi nu ştim exact de unde vine energia suplimentară pe care o consumă creierul, ştim totuşi că nu este produsul vreunui compromis cu alt țesut lacom de energie. Energia suplimentară provine poate de la funcții ale corpului precum locomoția şi reproducerea.

Aşa cum am mai spus, strămoşii noştri au primit, probabil, un bonus mare de energie din regimul alimentar, reducând costul digestiei prin procesarea alimentelor – anume prin mărunțire şi măcinare, dar şi prin gătit. Au început, de asemenea, să consume alimente de mai bună calitate, printre care şi carne, dar şi hrană cu conținut mare de amidon, ca tuberculii. Întrucât consumau alimente de calitate, diverse şi îşi împărțeau hrana, hominizii şi-au dezvoltat o dietă

bogată în energie, pe care puteau conta. Toate acestea au dus nu doar la creşterea creierului, ci şi la sporirea masei corporale.

Totuşi, dacă ne uităm la intestinele proprii, vedem că nu suntem deloc aparte. În fond, intestinele umane nu diferă prea mult de intestinele celor mai apropiate rude ale noastre din rândul primatelor antropoide. Sunt intestine de frugivor, absolut comune, ceea ce înseamnă că se potrivesc şi unui omnivor. Cu alte cuvinte, tractul nostru digestiv nu are un profil anume, fapt care ne conferă un avantaj important: flexibilitatea regimului alimentar. Putem supraviețui consumând o varietate de alimente, iar unii dintre noi, în prezent, sunt aproape complet carnivori, în timp ce alții sunt strict vegetarieni. În trecutul îndepărtat, strămoşii noştri supraviețuiau consumând hrana care le era la îndemână. În esență, oamenii nu sunt mofturoşi la mâncare (lucru pe care fiica mea de trei ani nu pare să-l ştie).

Există dovezi care arată că sistemul nostru digestiv *chiar* s-a schimbat, dar nu anatomic, ci în ceea ce priveşte enzimele cu care digerăm hrana. Față de cimpanzei, de exemplu, avem mai multe exemplare ale genei care codifică enzima numită amilază, cu rol în descompunerea amidonului, aşadar digerăm mai bine alimentele care-l conțin, cum ar fi tuberculii. În ultimii zece mii de ani, la multe populații din Europa, India, Africa şi Orientul Mijlociu, schimbările genetice i-au permis unei gene care în mod normal se dezactivează în copilărie să rămână activă în perioada de maturitate. E vorba de gena care codifică lactaza, o enzimă care ne permite să digerăm lactoza, proteina din lapte – lucru esențial pentru orice mamifer care depinde de laptele mamei la începutul vieții. La majoritatea mamiferelor, inclusiv la oameni, capacitatea de a produce lactază dispare după înțărcare, când devine de prisos. Dar la crescătorii de animale, care beau lapte din vremuri preistorice, capacitatea de a produce lactază şi la maturitate este ceva obişnuit. Schimbarea aceasta *trebuie* să fi survenit după domesticirea animalelor în neolitic, care s-a produs în perioade diferite în funcție de regiune. Acolo unde modificările acestea genetice s-au răspândit la întreaga populație, selecția naturală a acționat foarte puternic asupra abilității de a produce lactază la maturitate. Fenomenul s-a produs probabil în perioadele de secetă sau foamete, când capacitatea de a bea şi a digera lapte proaspăt era esențială pentru supraviețuire. În treacăt fie spus, schimbările acestea recente

în fiziologia noastră digestivă înseamnă că dieta paleo, presupusă a fi mai sănătoasă fiindcă recreează regimul alimentar pe care-l aveam ca vânători-culegători, este greşită. În primul rând, regimul alimentar trebuie să fi variat de la o regiune la alta chiar şi în paleolitic, iar multe populații s-au schimbat genetic de când am lăsat în urmă stilul acela de viață. Nu suntem nişte vânători-culegători fosilizați.

Lăsând la o parte modificările legate de amilază şi lactază, tractul nostru digestiv este cât se poate de obişnuit pentru o primată antropoidă. Se pare că în trecut ne-am grăbit prea tare să identificăm diverse trăsături ale noastre drept unice. Nu neagă nimeni că omul, privit în ansamblu, este unic (acelaşi lucru s-ar putea spune despre orice specie, deci nu te umfla prea tare în pene), însă părțile care îl formează sunt mai puțin remarcabile. Elemente care păreau să aparțină exclusiv speciei umane există şi la alte animale, mai ales la rudele noastre apropiate. Intestinul uman, de exemplu; prin urmare, e poate mai înțelept să acceptăm că intestinele noastre sunt la fel de comune ca ale oricărei primate antropoide.

GONADE, ORGANE GENITALE ŞI GESTAȚIE

ANATOMIA REPRODUCERII ŞI DE CE SUNT NEAJUTORAȚI NOU-NĂSCUȚII UMANI

„Dacă [...] îl atingi fie şi cu degetul cel mic, plăcerea le face sămânța să se reverse în toate părțile, mai iute decât vântul, chiar fără voia lor.“

REALDO COLOMBO, 1559
(DESCOPERITORUL AUTODECLARAT AL CLITORISULUI)

UMFLĂTURI, NODURI ŞI TUBURI

Urmărind canalul digestiv până la capăt, prin ansele intestinului subțire şi bucla largă a colonului, care ocoleşte abdomenul, ajungem în bazin, unde tractul se termină în rect şi, în cele din urmă, în canalul anal. Bazinul adăposteşte şi vezica urinară, plasată frontal, chiar în spatele simfizei pubiene – articulația din față, dintre cele două oase pubiene. Dar, firește, mai există şi alte organe acolo jos: organele reproducătoare.

Sistemul reproducător uman permite fertilizarea internă; cu alte cuvinte, sperma întâlneşte ovulul *în interiorul corpului*. Nu pare mare lucru, şi totuşi nu se întâmplă decât la unele vertebrate. Majoritatea peştilor şi a amfibienilor se reproduc în afara corpului: prin fertilizare externă. Peştele femelă nu face decât să-şi depună ouăle în apă, iar masculul le stropeşte cu spermă, şi gata! Trecerea din apă pe uscat a fost o provocare enormă pentru strămoşii noştri, care au trecut printr-o serie de transformări: au dezvoltat plămâni ca să respire aer, membre ca să se deplaseze, şi nu înotătoare, şi au conceput o nouă metodă de percepere a vibrațiilor în aer – urechile. Rămânea însă problema spinoasă a fertilizării. Dacă o femelă de animal terestru şi-ar depune ouăle pe pământ şi un mascul şi-ar elibera sperma peste ele, ar rezulta o amestecătură lipicioasă care s-ar usca şi s-ar perima înainte să se întâmple ceva interesant.

Una dintre soluțiile pe care animalele de uscat le-au găsit la această problemă a fost să revină la reproducerea în apă, şi exact asta presupunem că au făcut primele animale terestre, ca majoritatea amfibienilor de azi. Broaştele trăiesc foarte bine departe de apă, în copaci, sub pietre şi printre ziduri, dar, când intervine instinctul de reproducere, trebuie să revină la originile lor acvatice şi să găsească un ochi

de apă în care să-şi depună ovulele şi sperma. La ele, fertilizarea este externă, ca şi la peşti. Dar unii amfibieni au dezvoltat o metodă de fertilizare internă, care pare mai interesantă decât este de fapt. La majoritatea tritonilor şi salamandrelor, femela îşi păstrează ouăle înăuntru, iar sperma ia contact cu ouăle în corpul femelei; fertilizarea nu implică însă un contact direct între mascul şi femelă. Masculul „depune“ o masă lipicioasă de spermă, protejată cu fâşii de mucus, şi are grijă să fie în apropierea unei femele. Dacă are noroc, salamandra femelă se apropie şi se aşază pe spermatoforul gelatinos. Pare foarte nesatisfăcător, dar salamandrelor probabil că le face plăcere – destul cât să continue să se reproducă în acest fel (lucru esențial, în fond, pentru supraviețuirea speciei).

Din câte vedem la descendenții lor actuali, primele reptile au încercat o metodă nouă: femela îşi păstrează ouăle înăuntru, dar de data aceasta masculul îşi introduce sperma în corpul femelei, nu lasă un pachet lipicios pe pământ. De aici înainte, masculii speciilor terestre au fost liberi să dezvolte o întreagă panoplie de dispozitive de livrare interesante, deşi, la majoritatea reptilelor, acestea sunt foarte rudimentare. La reptile, capătul inferior al tubului intestinal al embrionului formează o cavitate numită „cloacă“. E un nume potrivit: cloaca se leagă atât de vezică, cât şi de capătul intestinului gros, aşa că urina şi fecalele se adună în ea înainte să fie eliminate din corp, or în latină *cloaca* înseamnă „canalizare“. La masculul reptilă, canalele spermatice se golesc şi ele tot în cloacă. La femela reptilă, intestinul gros, vezica şi cele două oviducte se deschid în cloacă. La majoritatea reptilelor, masculul şi femela fac transferul de spermă apăsându-şi posterioarele unul de celălalt. Pentru a ajuta procesul, masculul poate întoarce pe dos cele două buzunare pe care le are în cloacă (numite hemipenisuri), ca să împingă sperma în direcția potrivită.

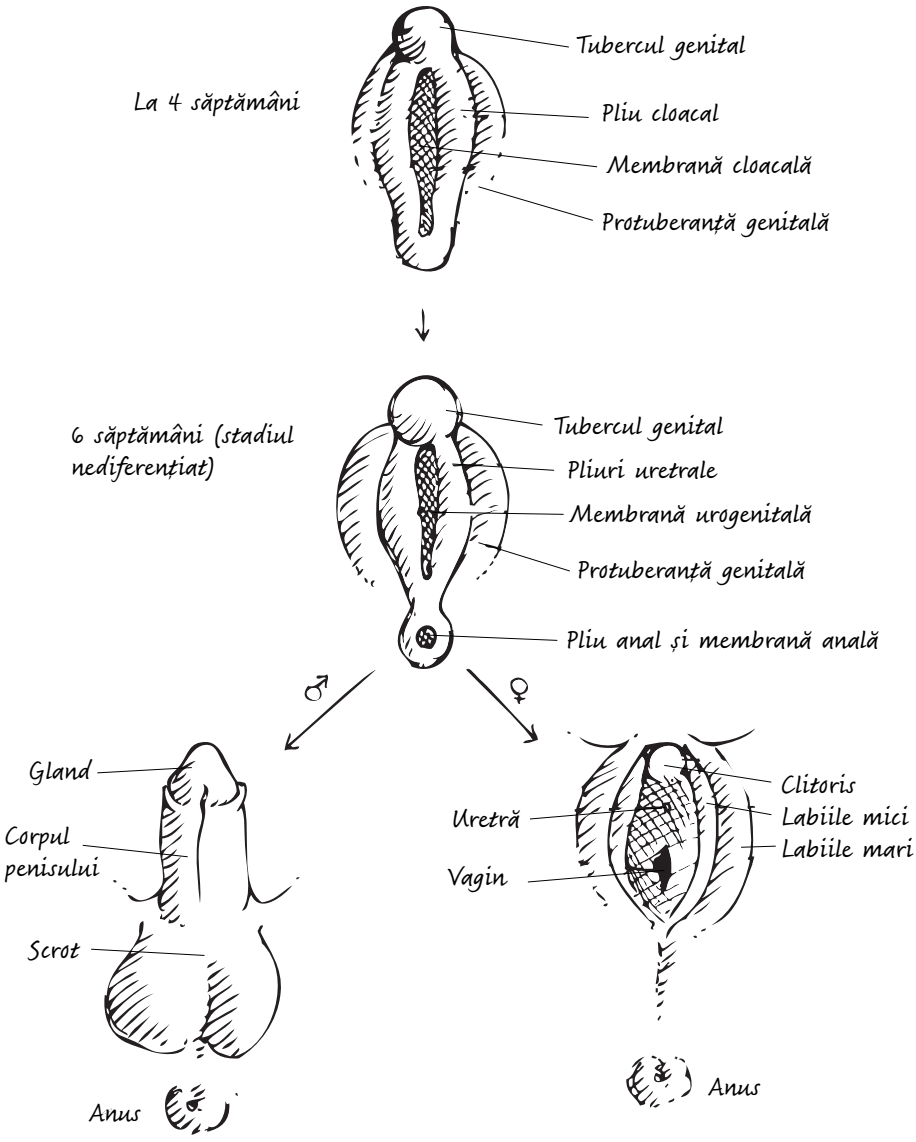
Păsările şi mamiferele, ambele descendente din reptile, fac şi ele fertilizarea în corp, prin contact intim între viitoarea mamă şi viitorul tată. Majoritatea masculilor păsări nu au penis, aşa că, la fel ca multe reptile, îşi apasă posteriorul de cel al partenerei pentru a înlesni trecerea spermei dintr-o cloacă în cealaltă. Totuşi, unele specii de păsări (de fapt, şi unele reptile, printre care crocodilii şi țestoasele) au un penis erectil, pe care-l introduc în cloaca femelei pentru

a depune sperma. Rățoii au un penis cu un canal în spirală pe exterior, prin care eliberează sperma în femelă. Dar penisul reptilelor şi păsărilor diferă foarte mult de penisul majorității mamiferelor. La reptilele şi la pasările la care este prezent, penisul se ridică din peretele inferior al cloacei. Când țesutul spongios din penis se umple cu sânge, organul iese din cloacă, gata de lucru. La mamifere, penisul începe în exteriorul corpului, iar cloaca se divide într-un săculeț, în față, aşa-numitul sinus urogenital (care va forma, la rândul său, vezica şi partea superioară a uretrei), şi într-o porțiune posterioară: rectul şi canalul anal. La masculii de mamifere, penisul este format din mai multe umflături şi noduri situate în fața şi pe laturile orificiului urogenital al embrionului. Rezultatul final arată foarte diferit, însă aceleaşi umflături şi noduri sunt prezente şi la embrionul de sex feminin.

Membrana cloacală este zona în care capătul tubului intestinal se întâlnea cu exteriorul corpului. Pe măsură ce septul urorectal împarte cloaca din interior în două, membrana cloacală de la exterior se divide şi ea – într-o membrană urogenitală şi într-una anală. În cursul aceleiaşi săptămâni, membrana urogenitală se perforează, pentru ca sinusul în formă de sac de deasupra ei să se poată scurge în cavitatea amniotică. Dar aspectul rămâne acelaşi la embrionii de sex masculin şi la cei de sex feminin până într-a noua săptămână de dezvoltare. Există un set de componente unisex cu care se pot construi organele genitale ale ambelor sexe.

De aici înainte, dezvoltarea organelor tale genitale externe depinde de prezența sau absența cromozomului Y, care va face gonadele să devină testicule, care la rândul lor vor produce testosteron. În lipsa hormonului care determină sexul masculin, setul de componente unisex capătă formă feminină: din tubercul se va forma clitorisul, din pliurile uretrale – labiile mici, iar din protuberanțele genitale – labiile mari, precum şi muntele pubian.

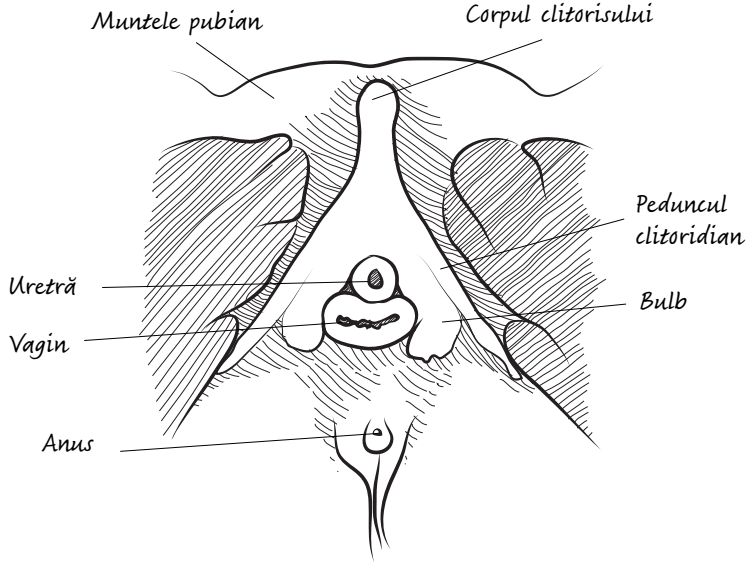
La fătul de sex masculin, sub influența testosteronului, tuberculul genital formează corpul şi vârful penisului. Protuberanțele genitale exterioare cresc şi formează scrotul, iar pliurile uretrale interioare se unesc şi se contopesc, dinspre partea posterioară spre cea anterioară, pentru a cuprinde uretra în interiorul bazei penisului. Cum se întâmplă cu orice aspect al dezvoltării embriologice, pot apărea probleme şi în formarea organelor genitale, iar cea mai des întâlnită este cea



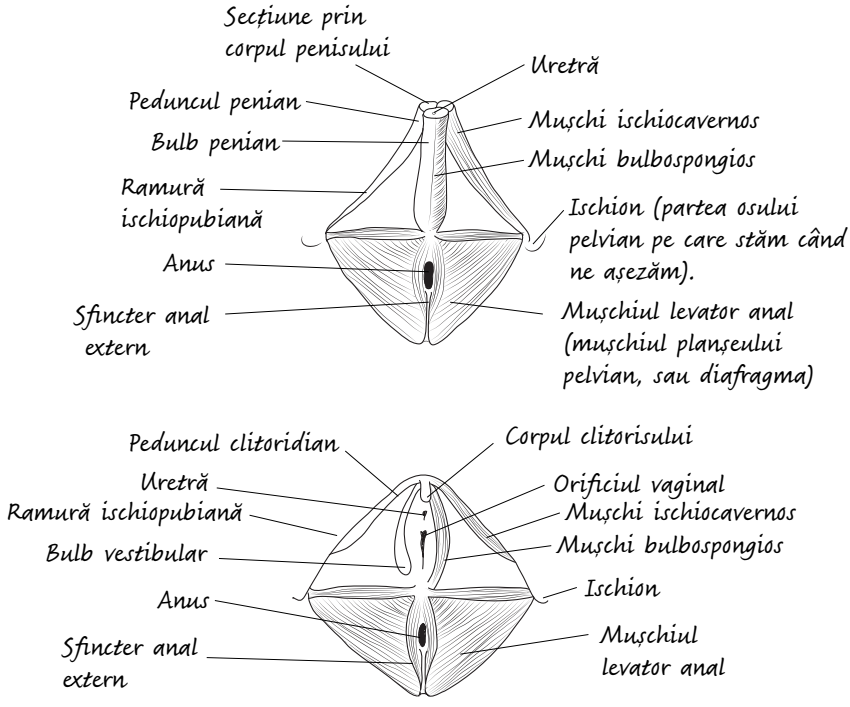
Din setul de componente unisex se formează mai târziu organele genitale externe masculine sau feminine.

în care pliurile uretrale nu se contopesc, numită hipospadias. Malformația aceasta se regăseşte la câțiva bebeluşi de sex masculin dintr-o mie. Se poate întâmpla ca uretra să se deschidă sub penis, şi nu spre vârf, sau foarte în spate, în perineu, la nivelul scrotului. Corecția chirurgicală a hipospadiasului are o rată foarte mare de reuşită; uretra poate fi reconstruită chirurgical şi introdusă în penis.

Deşi organele reproducătoare externe ale femeii sunt foarte diferite de cele masculine, există între ele similarități profunde, care îşi au originea în primele săptămâni de dezvoltare. Mai în adâncime, clitorisul nu este doar protuberanța de sub osul pubian. Se leagă de doi corpi de țesut erectil, care urmăresc ramurile osoase ischio-pubiene ce încadrează perineul în laterale. Aceştia se numesc pedunculi (în latină, *crura*) clitoridieni. De o parte şi de alta a orificiului vaginal şi înspre clitoris mai există o pereche de corpi erectili, numiți bulbii vestibulari (vestibulul este spațiul dinainte de labiile mici). Corpul, pedunculii şi bulbii clitorisului au un țesut spongios – plin de cavități care se umplu cu sânge şi se umflă în starea de excitare sexuală. Clitorisul este mult mai mare decât s-ar crede (şi mult mai mare chiar



Clitorisul, aşa cum apare la o scanare RMN a pelvisului feminin (redesenat după O'Connell et al., 2005).



Deși foarte diferite la suprafață, organele genitale masculine și feminine sunt similare. Ilustrațiile prezintă perineul masculin (sus) și pe cel feminin (jos): zona dintre picioare, limitată de simfiza pubiană în față și de coccis în spate.

şi decât apare în multe cărți de anatomie). Glandul şi corpul clitorisului au o lungime de 2-4 cm numai în starea de repaus – atunci când este stimulat, clitorisul se măreşte. Bulbii vestibulari au cam 3 cm lungime, iar pedunculii care se întind de-a lungul ramurilor ischio-pubiene au o lungime de 9-11 cm.

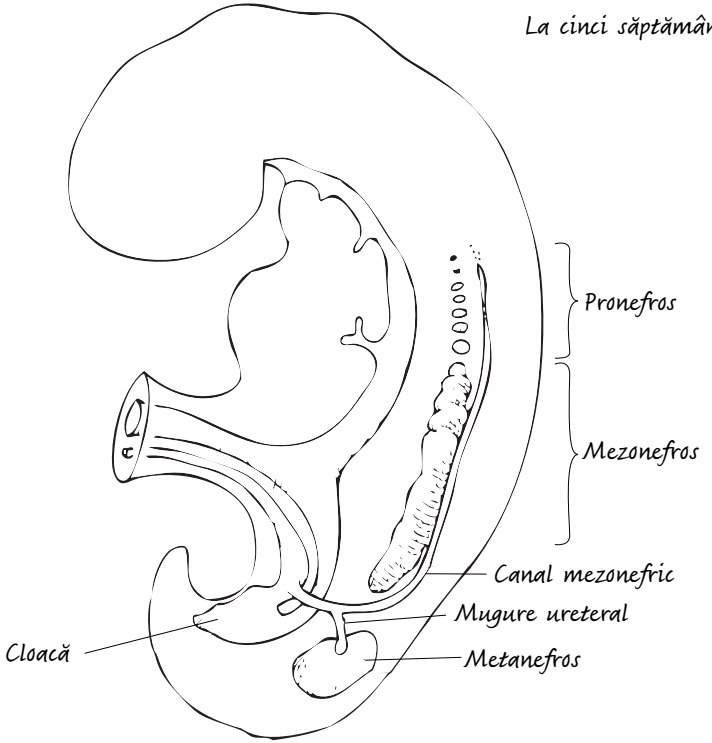
Țesutul spongios din clitoris, bulbi şi pedunculi este exact acelaşi tip de țesut ca cel din penis. La penis, bulbii au fuzionat (se contopesc când se unesc pliurile uretrale în embrion), iar pedunculii sunt mult mai lungi.

La interior, organele reproducătoare interne îşi încep existența tot ca un set de componente unisex. Pare remarcabil având în vedere cât

de diferite sunt rezultatele, dar la şase săptămâni gonadele în dezvoltare şi tuburile care vor forma canalele reproductive masculine şi feminine sunt imposibil de deosebit.

Gonadele apar pe peretele posterior al abdomenului embrionului, fiecare lângă o altă protuberanță, numită mezonefros (sau corpul lui Wolff). Există, de asemenea, şi două seturi de tuburi: canalul lui Wolff şi canalul lui Müller, ale căror nume omagiază doi pionieri germani ai embriologiei.

Caspar Friedrich Wolff a studiat medicina şi embriologia la Berlin, iar în 1759 a publicat o disertație cu titlul „Teoria generațiunii", devenită lucrare de referință în embriologie. Autorul reevalua ideea aristotelică a epigenezei pe baza propriilor observații asupra dezvoltării plantelor şi a puilor de găină. Wolff spune: „Din teoria epigenezei



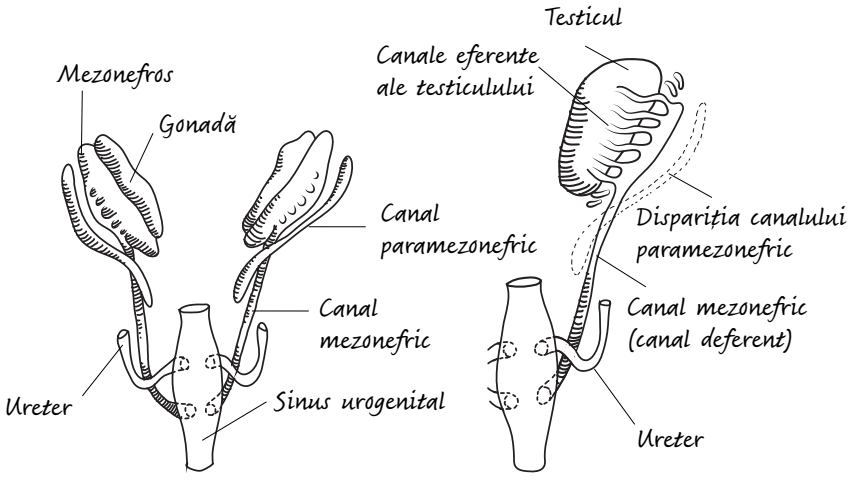
Rinichiul embrionar în curs de dezvoltare

deducem că părțile corpului nu sunt preexistente, ci se alcătuiesc treptat.“ Era o afirmație îndrăzneață, fiindcă pe atunci teoria dominantă era cea preformațională, potrivit căreia dezvoltarea embrionară presupunea creşterea unor elemente minuscule, gata formate. Wolff nu a reuşit să convingă autoritățile din domeniu de validitatea epigenezei, dar şi-a continuat cu hotărâre cercetările embriologice, descriind pentru prima oară multe aspecte ale dezvoltării, printre care formarea tubului intestinal.

În disertația originală din 1759, Wolff prezenta foarte amănunțit dezvoltarea rinichilor embrionului de găină. A descris structurile din partea posterioară a abdomenului puiului, inclusiv mezonefrosul, şi canalul lui Wolff, ataşat de acesta. *Nefros* înseamnă „rinichi“ în greacă, iar mezonefrosul arată ca un rinichi în dezvoltare, cu canale în interior. Chiar funcționează ca un rinichi la embrionul de găină – şi la cel uman –, fiindcă filtrează sângele şi produce urină, care se scurge prin canalul mezonefric. În paralel, se formează un alt rinichi: metanefrosul, care se află în regiunea pelviană a embrionului. În cele din urmă, acesta va prelua funcțiile primului şi va deveni rinichiul definitiv, care se va ridica din bazin până pe peretele posterior al abdomenului. Acolo se află rinichii tăi – de fapt, sunt atât de sus, încât partea superioară stă ascunsă sub a douăsprezecea coastă.

Ce se întâmplă însă cu mezonefrosul? La femei, nu mare lucru. Se retrage lăsând în urmă două insulițe de țesut, aproape de ovare. La bărbații adulți, nu mai are nimic de-a face cu rinichii, dar canalele dinăuntrul lui sunt reciclate: devin canalele ejaculatoare ale testiculelor, în timp ce canalul mezonefric devine canalul deferent, care duce sperma de la testicule la uretra masculină.

La găini, la oameni şi la multe alte specii intermediare, mezonefrosul funcționează ca rinichi în embrion, apoi funcția îi este deturnată de sistemul reproducător masculin. La rudele noastre mai îndepărtate (peşti şi amfibieni), mezonefrosul funcționează ca rinichi şi la adult. Din nou observăm cum tiparul de duplicare le dă structurilor libertatea de a adopta roluri noi. Faptul că s-a „inventat“ un nou metanefros la reptilele primitive a însemnat că mezonefrosul putea să renunțe la funcția de rinichi şi să facă altceva. De fapt, transportarea spermei nu era un rol nou pentru canalele din mezonefros şi pentru canalul mezonefric. Chiar şi la peşti, la care majoritatea



Setul unisex pentru organele genitale interne (stânga) și tiparul lor de dezvoltare la embrionul uman de sex masculin (dreapta), la care canalul mezonefric (al lui Wolff) persistă și devine canalul deferent.

tubilor mezonefrici funcționează ca parte din rinichi, unii dintre ei sunt folosiți pentru a transporta sperma de la testicule la canalul mezonefric – prin rinichi. Lucrurile se leagă, dacă vedem că testiculele şi rinichii se află, la peşti, unele lângă celelalte, pe peretele posterior al abdomenului (la fel ca la embrionii umani). Din nou observăm ecouri ale unor stadii evolutive mai timpurii la embrionul uman, ecouri imposibil de ignorat. În cazul acesta, sunt prezente atât în funcționare, cât şi în structură, fiindcă mezonefrosul uman încă mai funcționează ca rinichi *in utero*.

La embrionii umani de sex feminin, canalul lui Wolff dispare, iar organele reproducătoare formează un al doilea set de canale: canalele lui Müller.

Johannes Peter Müller s-a născut în 1801 şi a studiat într-un seminar iezuit; urma să devină preot, dar l-a fascinat biologia şi a ajuns să studieze medicina, iar în cele din urmă a devenit profesor de anatomie, fiziologie şi patologie la Academia Kaiser Wilhelm din Berlin – universitatea la care studiase şi Wolff cu un secol în urmă. Domeniile de cercetare ale lui Müller au fost extrem de ample, cuprinzând anatomia, fiziologia şi embriologia. Ca şi Wolff, a studiat

embrionii de găină; canalele lui Müller mai fuseseră observate, dar nu li se înțelesese importanța. Müller şi-a dat seama că aceste canale evoluau diferit la embrionii de sex masculin şi la cei de sex feminin: la puii de sex masculin, canalul lui Wolff persista şi devenea canalul deferent, iar canalele lui Müller regresau; la puii de sex feminin, canalul lui Wolff aproape dispărea, în timp ce canalele lui Müller îşi continuau existența, devenind oviducte.

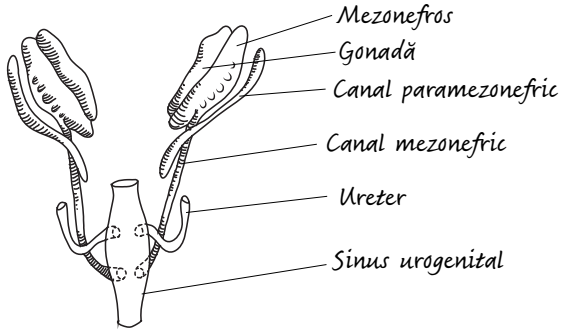
A trecut mult timp de când au fost descoperite canalele lui Wolff şi Müller până când li s-a înțeles rostul. Puzzle-ul avea să fie complet de-abia după revelațiile geneticii din secolul XX: descoperirea cromozomilor care determină sexul, elucidarea structurii ADN-ului şi capacitatea de a decodifica genele individuale.

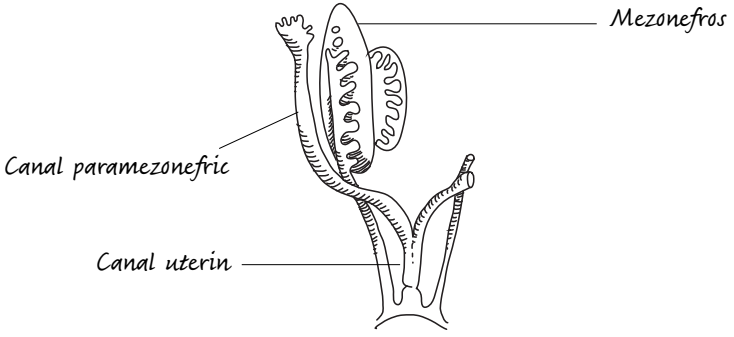
Pe cromozomul Y se află o genă cu numele concis de SRY – un acronim de la „regiunea de pe cromozomul Y care determină sexul“[1]. Aceasta determină (împreună cu alte gene, fiindcă în conversația genetică din timpul dezvoltării embrionului nimic nu e simplu) diferențierea testiculelor. În interiorul fiecărui testicul, anumite celule încep să producă o substanță numită hormonul anti-Müllerian, pe scurt AMH, care marchează sfârşitul canalelor lui Müller. Alte celule din testicule încep să producă testosteron, care virilizează canalele lui Wolff şi le face să se transforme în canale deferente. Testosteronul masculinizează şi organele genitale externe.

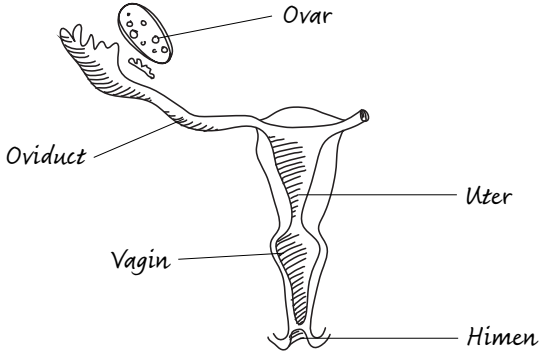
S-a descoperit şi gena care determină dezvoltarea ovarelor. Produsul proteic al acestei gene inhibă genele „masculine“ şi duce la feminizarea organelor genitale, dar încă încercăm să ne dăm seama cum anume decurge acest proces. Mai târziu, hormonii produşi de ovar încurajează dezvoltarea celorlalte organe reproducătoare feminine şi feminizează organele genitale externe.

Embrionii de găină s-au dovedit foarte folositori în a determina principiile generale ale originii organelor reproducătoare, dar dezvoltarea mai târzie a tractului reproducător feminin la păsări este atipică. La majoritatea vertebratelor, de la rechin la om, persistă ambele canale ale lui Müller, care formează de obicei două oviducte separate, care se deschid în cloacă. La păsări şi la crocodili, embrionul are la început două canale ale lui Müller, dar numai unul se diferențiază sub forma oviductului; celălalt degenerează.

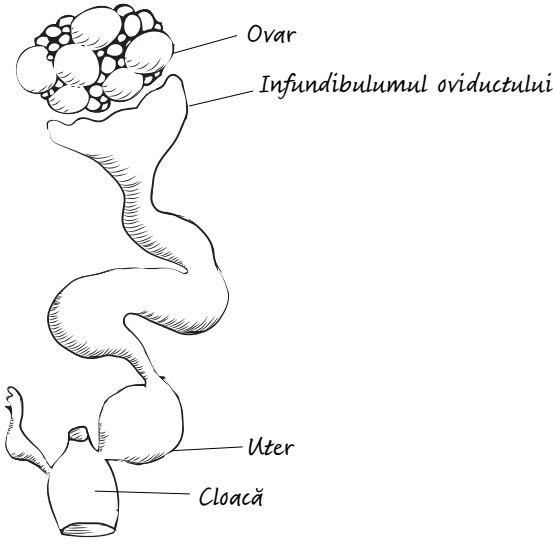
1. În engleză, *sex-determining region of Y chromosome* (n. tr.).







Și embrionul uman de sex feminin pornește tot de la setul unisex (desenul de sus), dar de data aceasta canalul paramezonefric (al lui Müller) este cel care persistă și formează oviductele, uterul și partea superioară a vaginului (desenele de jos).



Ovarul și oviductul nepereche ale găinii

Tractul reproducător al găinii trebuie să asigure un loc în care spermatozoidul să se întâlnească cu ovulul şi extraprotecție pentru ovulul fertilizat (sau nefertilizat). Pe măsură ce coboară prin oviduct, ovulul găinii (care, în mod derutant, arată exact ca gălbenuşul oului de găină) se îmbracă în albumină (albuşul oului), apoi în coaja tare.

La mamiferele placentare, tractul reproducător feminin are mult mai multe de făcut. Ovulul fertilizat nu va fi eliminat, ci va rămâne în corpul femelei până când fătul va fi gata să se nască. E nevoie aşadar de un loc în care embrionul să se dezvolte până la termen. Canalele lui Müller rămân separate în zona superioară, formând două oviducte (sau tuburi falopiene, cum au fost botezate după anatomistul italian din secolul al XVI-lea care le-a descris pentru prima dată). În partea inferioară însă se contopesc şi formează vaginul, iar între acesta şi oviducte – uterul. Femelele cu marsupiu, cum sunt cangurii şi oposumii, au vagine duble (iar masculii au un penis adecvat, bifurcat) şi două utere complet separate. Majoritatea mamiferelor placentare au un uter cu „două coarne“, sau bicorn (şi nasc de obicei cel puțin doi pui odată, dacă nu mai mulți), dar la câteva grupuri cana-

lele lui Müller se unesc complet, formând un singur uter fără coarne. Printre acestea se numără unii lilieci, maimuțele, primatele antropoide şi oamenii – animale care, de obicei, poartă câte un singur făt.

Uterul mamiferelor placentare este un organ de-a dreptul incredibil. La om, e de mărimea unui avocado şi aşa rămâne până e implantat în el un embrion – după care creşte şi tot creşte. La termen, uterul uman se măreşte până ajunge sub stern, în „capul pieptului". Uterul nu se întinde pur şi simplu, ci *creşte*, acumulând muşchi de care va avea nevoie ca să împingă fătul când va veni vremea. În uter, deşi a trecut multă vreme de când strămoşii noştri de sex feminin îşi depuneau ovulele nefertilizate direct în apă, fătul se dezvoltă într-un lac primordial de lichid amniotic. Apariția sacului amniotic a fost un pas esențial care a eliberat animalele terestre de nevoia de a se întoarce în apă pentru a se reproduce. Embrionii reptilelor, păsărilor şi mamiferelor au nevoie şi acum de un mediu lichid. La animalele ovipare, acesta se află în ou; la mamiferele placentare, mediul acvatic este chiar în corpul feminin, în uter. Lichidul amniotic în care înoată embrionul este important în multe privințe pentru dezvoltarea lui. În primul rând, îl protejează. Embrionul „respiră" lichid amniotic în plămânii în dezvoltare, îl înghite şi îl absoarbe în sânge. Rinichii fătului filtrează sângele, generând urină (care nu conține toxinele din urina bebeluşilor sau a adulților – acestea sunt eliminate prin placentă), care completează volumul lichidului amniotic. Dacă rinichii embrionului nu funcționează bine, lichidul amniotic se împuținează, plămânii nu se dezvoltă corespunzător, iar membrele cresc incomplet şi diform.

ADEVĂRATE „BIJUTERII DE FAMILIE": INCREDIBILELE TESTICULE (ŞI OVARE) MIGRATOARE

Pe când erai embrion, gonadele ți s-au format undeva sus, pe peretele posterior al abdomenului, dar acum *nu* se mai află acolo, indiferent ce sex ai. Dacă rinichii urcă din locul în care se formează, din bazin, până pe peretele abdominal posterior, gonadele migrează în sens opus, coborând până în bazin. Dacă eşti femeie, ovarele se opresc acolo. Dacă eşti bărbat, testiculele mai au de mers. Sub influența

diverşilor hormoni masculini, printre care şi AMH, ligamentul de care atârnă testiculele se dizolvă şi se dezvoltă un altul, sub ele, care le precedă. Acest ligament poartă numele de *gubernaculum*, cuvânt care în latină înseamnă „cârmă“. Testiculele încep să migreze în a doua lună de gestație; la naştere, vor fi coborât deja în scrot la majoritatea bebeluşilor. Există cazuri în care testiculele coboară în următoarele câteva luni sau în care nu mai coboară deloc.

De ce coboară, în fond, testiculele? În comparație cu femeile, care sunt prevăzătoare şi îşi țin gonadele înăuntru, bărbații se expun purtându-şi-le la exterior. Pare un gest nechibzuit. Organele acestea şi-au început existența ascunse bine în abdomen; atunci *de ce* să le trimitem tocmai în scrot, unde sunt atât de vulnerabile? Mersul pe bicicletă, săriturile peste obstacole, cățăratul peste gard – dintr-odată, toate activitățile acestea aparent inofensive devin periculoase pentru jumătate din populația umană.

Se pare că producția de spermă funcționează cel mai bine la o temperatură mai mică cu câteva grade decât a corpului. Se presupune că temperaturile mai mari ar afecta prea tare ADN-ul şi ar putea crea spermatozoizi defectuoşi. Scrotul, sacul în care atârnă testiculele, este o invenție care le aparține exclusiv mamiferelor şi a evoluat probabil odată cu capacitatea acestora de a-şi menține temperatura corpului la 36-38°C. (Păsările sunt cumva o enigmă în acest sens, fiindcă multe dintre ele au temperatura corpului mai mare şi nu par deranjate de faptul că testiculele lor se află în abdomen.) Sunt şi mamifere care-şi țin testiculele înăuntru, printre care elefanții şi balenele, care au un sistem specializat de alimentare cu sânge pentru răcirea gonadelor, şi unele insectivore, care au oricum, în general, o temperatură a corpului scăzută. Dar la majoritatea mamiferelor, inclusiv la oameni, fireşte, scrotul e o plasă frigorifică la îndemână pentru gonadele masculine.

Afecțiunea numită criptorhidism (literal, testicule ascunse), în care testiculele nu coboară din abdomen în scrot, are consecințe serioase. Producția de spermă va avea probabil de suferit, ceea ce va duce la infertilitate. Creşte, de asemenea, şi riscul de cancer testicular. Chiar dacă testiculele ajung cu bine în scrot, pot apărea alți factori care să ducă la creşterea dăunătoare a temperaturii în jurul gonadelor. Pantalonii strâmți, băile şi saunele fierbinți şi chiar statul pe scaun prea

mult pot creşte temperatura scrotului şi pot reduce fertilitatea. S-a sugerat chiar şi că înfăşarea testiculelor în prima copilărie poate provoca o creştere pe termen lung a temperaturii scrotului cu câteva grade, fapt care ar putea afecta celulele stem testiculare care produc sperma. Nu există însă dovezi concludente cum că scutecele ar afecta potențialul reproductiv pe termen lung.

La mulți masculi de mamifere, testiculele rămân ascunse până începe sezonul de împerechere, dar la primate se leagănă în scrot tot anul. Se spune că luptătorii de sumo ar fi o excepție, fiindcă şi-ar ascunde gonadele în timpul luptelor, masându-le înainte până s-ar retrage în spatele osului pubian. Dar trebuie să recunosc că n-am auzit aşa ceva direct de la un luptător de sumo şi e foarte posibil să fie un mit urban. Faptul e pomenit într-un roman din seria James Bond, dar Ian Fleming nu e neapărat o sursă de încredere când vine vorba de biologie.

La primate, testiculele variază mult ca mărime, chiar dacă luăm în considerare doar oamenii şi cei mai apropiați veri ai noştri din rândul antropoidelor. O pereche medie de testicule umane cântăreşte cam 40 g, în timp ce testiculele de gorilă sunt mai mici, având cam 30 g amândouă; cimpanzeii sunt cel mai bine dotați, cu testicule de 135 g. Diferențele devin şi mai pronunțate dacă luăm în calcul mărimea corpului: un cimpanzeu mascul cântăreşte cam 40 kg, în comparație cu media de 70 kg la om şi masa considerabilă de 170 kg a unui mascul de gorilă. Aşadar, cimpanzeii sunt specia cea mai mică, dar au testiculele cele mai mari. Dimpotrivă, un mascul uriaş de gorilă cu spatele argintiu are un set de gonade chiar foarte modest. Mărimea testiculelor este direct proporțională cu cantitatea de spermă generată – la speciile promiscue ca cimpanzeii, cu strategii de împerechere între mai mulți masculi şi mai multe femele, competiția între masculi este acerbă. Masculii concurează pentru accesul la femele, dar competiția nu se opreşte acolo: femela de cimpanzeu poate avea spermă de la mai mulți parteneri în tractul reproducător.

Aşadar, şi spermatozoizii concurează, iar aici hotărâtoare e cantitatea: cimpanzeul mascul care a produs cea mai multă spermă are cele mai multe şanse ca unul din spermatozoizii lui să fie cel care fertilizează ovulul. La gorile, care practică poliginia, lupta se produce

cu mult înainte de copulație. Un singur mascul dominant cu spatele argintiu se luptă pentru un harem de femele. Nu are nevoie să producă spermă în cantitate mare; raportat la masa corporală, testiculele gorilelor produc de douăzeci de ori mai puțină spermă decât cele de cimpanzeu. Testiculele umane sunt undeva la mijloc ca mărime: mai mari decât ale gorilelor, dar cam de zece ori mai mici decât ale cimpanzeilor, față de mărimea corpului. Faptul indică un nivel moderat de competiție între spermatozoizi la om – mai puțin intensă decât la cimpanzeii promiscui, dar mai pronunțată decât la gorile, unde un singur mascul e stăpân peste un harem. Mărimea testiculelor umane reflectă un sistem de împerechere esențialmente monogam, cu uşoare tendințe spre promiscuitate.

PENISURI, CLITORISURI ŞI ORGASM

Şi penisurile mamiferelor prezintă o diversitate enormă. După ce au inventat o asemenea minune de organ, mamiferele s-au dotat cu o mare varietate de forme şi mărimi de penisuri, ba chiar şi cu tot felul de accesorii. Unele sunt bifurcate (ca să se potrivească vaginului dublu), altele lungi şi subțiri, altele scurte şi îndesate, unele au țepi şi multe au înăuntru un os (numit os penian, sau *baculum*). Diversitatea este de-a dreptul uimitoare, fie şi numai în rândul primatelor.

Şi clitorisurile variază destul de mult în rândul mamiferelor. Clitorisul femelelor de hienă şi cârtiță este lung, asemănător cu penisul; există însă şi primate cu clitorisuri alungite – unii lemurieni, maimuțele-păianjen şi cimpanzeii bonobo, cunoscuți şi ca cimpanzei pigmeu. Femelele multor primate au chiar şi un os clitoridian, echivalentul osului penian prezent la mulți masculi de mamifere.

Mare parte din masculii de mamifere îşi țin penisul într-o teacă îmblănită atunci când nu au nevoie de el; dimpotrivă, la toți masculii de primate (inclusiv la bărbați, bineînțeles) penisul atârnă liber. Majoritatea masculilor de primate au os penian, dar acesta lipseşte la maimuțele-păianjen, la maimuțele-lânoase şi la om (mai precis, la vasta majoritate a oamenilor – literatura medicală raportează 45 de cazuri de os penian la bărbat). La masculii speciei umane (ca şi la maimuțele de mai sus), erecția şi menținerea ei depind doar de presiunea locală a sângelui – aşa funcționează Viagra. Când penisul

este flasc, muşchiul neted din țesutul spongios dinăuntrul lui şi muşchiul neted din pereții arterelor care-l deservesc se contractă. Vremea rece îi poate contracta aceşti muşchi şi mai puternic, făcând penisul să se micşoreze şi mai mult. În timpul stimulării sexuale, se trimit semnale prin nervii parasimpatici din bazin, care relaxează muşchii netezi ai arterelor, astfel încât vasele de sânge se lărgesc şi lasă să intre mai mult sânge în interstițiile țesutului spongios, ai cărui muşchi netezi s-au relaxat şi ei. Creşterea presiunii închide venele cu pereți subțiri (vasele prin care pleacă sângele din penis). Când presiunea din țesutul spongios ajunge la aproximativ 100 mm Hg (aproape aceeaşi presiune la care iese sângele din inimă în punctul maxim al contracției), penisul devine erect. Apoi se contractă muşchii ischiocavernoşi de deasupra pedunculilor penieni, ceea ce sporeşte şi mai mult presiunea din penis şi îl întăreşte.

Cum erecția depinde de tensiunea arterială, problemele cu arterele pot duce la disfuncțiuni erectile. Dacă arterele care deservesc penisul nu se dilată suficient, în organ nu va intra suficient sânge pentru erecție. Nervii care deservesc aceste artere declanşează un lanț de reacții chimice, care produc un compus numit cGMP (guanozină-monofosfat ciclic, dacă ții neapărat să ştii), ce relaxează muşchii netezi. În penis, cGMP este descompus de o enzimă anume, pe care Viagra o dezactivează – producând efectul aproape magic de creştere a tensiunii vasculare în penis şi nicăieri altundeva. Sau aproape nicăieri altundeva. O enzimă asemănătoare acționează şi în retină, aşa că administrarea de Viagra poate afecta vederea în culori şi, uneori, creierul şi inima; aşadar, la fel ca toate medicamentele, şi acesta trebuie luat cu grijă.

Cum clitorisul se dezvoltă dintr-un set omolog de țesuturi embrionare şi este deservit de nervi echivalenți celor penieni, n-ar trebui să ne surprindă că mecanismul neural şi chimic al erecției clitoridiene este exact acelaşi. Acest adevăr nu a fost însă acceptat cu uşurință. Abia acum zece ani s-a descoperit că de erecția clitoridiană este responsabil acelaşi mecanism, acelaşi compus chimic numit cGMP şi enzime asemănătoare cu cele implicate în erecția penisului. Faptul ar fi trebuit să fie evident din dezvoltarea embrionară similară şi din inervația similară la bărbat şi la femeie, dar cunoştințele moştenite spuneau că sexul era, cumva, mai cerebral şi mai misterios la femei

şi mai mecanic la bărbați. Iată un citat din lucrarea respectivă (din nou, să nu uităm că a apărut de-abia acum zece ani):

„Funcția sexuală la femei nu a fost studiată în amănunt şi se presupune de multe ori că diferă de cea masculină, disfuncțiile fiind cauzate mai degrabă de slăbirea dorinței decât de probleme de erecție."

Dacă înțelegem mecanismul erecției clitoridiene nu înseamnă că putem atribui toate cazurile de disfuncționalitate sexuală la femei disfuncției erectile. Aceasta din urmă explică însă multe astfel de cazuri, care pot fi tratate cu medicamente ce afectează procedeul chimic de dilatare arterială, la fel ca la bărbați. Iar corpul clitorisului nu este singurul care se umple cu sânge şi se tumefiază; la fel se întâmplă şi cu țesutul spongios de sub labiile mici.

Bineînțeles, nici erecția peniană, nici cea clitoridiană nu sunt alfa şi omega ale funcționării sexuale normale. Actul sexual presupune mai mult decât alimentarea cu sânge a penisului şi a clitorisului. La bărbat, sperma trebuie să iasă din testicule, apoi să se amestece cu secrețiile glandelor anexe, ca prostata şi vezicula seminală, în ureter. Procesul se numeşte emisie şi, la fel ca schimbarea fluxului sangvin din penis, care îl întăreşte, este dirijat de partea viscerală, sau autonomă, a sistemului nervos. Tot aceasta dictează şi faza finală, ejacularea, în care sperma bogată în spermatozoizi este pompată prin uretră până la orificiul de pe glandul penisului, pe unde iese din corp, în valuri ritmice. La femeie, țesutul erectil care formează clitorisul se tumefiază; pereții vaginului, alimentați de multe vase, se umplu şi ei cu sânge, iar din capilarele de sub stratul interior al vaginului se scurge un fluid lubrifiant. Diverse glande, inclusiv unele din cervix, la intrarea în uter, îşi adaugă secrețiile la stratul de lubrifiant. În timpul orgasmului, muşchii planşeului pelvian şi ai vaginului se contractă ritmic.

Aşadar, la ambele sexe momentul orgasmului este însoțit de contracții musculare ritmice. Se pare că orgasmul survine nu doar ca reacție la impulsurile transmise prin nervi, ci şi ca răspuns la un anume mesaj chimic care circulă prin sistemul vascular. Mesajul respectiv este oxitocina, „hormonul iubirii".

Oxitocina este un hormon remarcabil. În comparație cu mulți compuşi-mesager din corpul nostru, e minusculă: e formată dintr-un şir de doar nouă aminoacizi. Este deci un mesaj foarte scurt – mai degrabă un *tweet* decât un memorandum –, dar foarte puternic. Modul său specific de funcționare rămâne în mare parte un mister, dar ştim că are legătură cu o varietate de funcții reproducătoare. Încurajează relația de cuplu (atât la oameni, cât şi, se pare, la îndelung studiații câini de prerie), relația dintre părinți şi copii, dar şi comportamentul matern. Oxitocina este, de asemenea, hormonul care determină contracțiile uterului în timpul naşterii, precum şi lactația. Ar fi greu şi neînțelept să legăm o emoție sau stare de spirit anume de un singur compus chimic din creier, dar s-a stabilit că oxitocina are un rol clar în generarea sentimentelor de iubire, fericire şi încredere.

Tot oxitocina este asociată şi cu experiența fizică şi psihologică a orgasmului. Când excitația sexuală ajunge la apogeu, creşte rapid nivelul oxitocinei, secretată de glanda pituitară de sub creier, ceea ce ajută la generarea contracțiilor musculare din bazin. Oxitocina este secretată şi de hipotalamus, aflat la baza creierului; probabil aici se află sursa senzației intense de fericire şi de bine pe care o asociem cu orgasmul.

Excitația sexuală şi orgasmul rămân subiecte intens dezbătute, mai ales când vine vorba de sexul mai frumos, mai misterios şi în mod cert mai puțin studiat. Orgasmul feminin rămâne un subiect delicat din punct de vedere politic şi biologic.

Cele două secole de dezbatere privind orgasmul feminin (s-a discutat dacă este provocat de stimularea clitorisului sau a vaginului) nu au reuşit să dea un răspuns lămuritor. În secolul al XIX-lea, unii biologi de sex masculin considerau că orgasmul feminin şi clitorisul nu aveau nici o utilitate, fiindcă nici unul, nici celălalt nu păreau necesare concepției. Freud considera orgasmele clitoridiene imature; femeile deveneau mature din punct de vedere sexual când începeau să aibă orgasme vaginale. În anii 1960, pionierii sexologiei, William Masters şi Virginia Johnson, au conchis că exista un singur tip de orgasm feminin, care începea în clitoris şi se răspândea în vagin. În anii 1950 însă, un anatomist german a descris o zonă puternic inervată de pe peretele anterior al vaginului („punctul G“), pe care a propus-o drept posibil declanşator al orgasmului vaginal. Studiile anatomice mai recente nu au descoperit nimic special la zona

aceasta din vagin, iar literatura despre punctul G constă în studii mărunte şi dovezi anecdotice. Este posibil însă ca stimularea vaginală să funcționeze pentru că duce la stimularea clitorisului, prin masarea țesuturilor ataşate de clitoris, inclusiv a pedunculilor şi a bulbilor tumefiați. Aşadar, opinia actuală a renunțat la dihotomia între orgasmul clitoridian şi cel vaginal, sugerând că toate acestea fac parte dintr-un tot. Partea anterioară a vaginului (în care se află şi uretra), clitorisul şi pedunculii săi lucrează împreună – un grup unitar de țesuturi erectile –, iar stimularea se transmite de la o zonă la alta. În mod deloc surprinzător, având în vedere importanța lor în actul reproducător, şi alte animale au orgasme şi, deşi subiectul a fost mult mai puțin cercetat la alte specii, nu avem motive să credem că experiența umană este unică.

MODURI DE ACUPLARE

În ceea ce priveşte modul în care folosim aceste elemente anatomice, în unele privințe suntem foarte rezervați în comparație cu alte primate, iar în altele suntem chiar mai dezlănțuiți. Primatele din subordinul *Strepsirrhini*, printre care lemurienii, au sezoane bine delimitate de activitate reproductivă, dar unele maimuțe şi toate primatele (inclusiv noi, oamenii) se cuplează pe toată perioada anului. La maimuțe şi la primatele antropoide, ciclurile de reproducere durează cam o lună, cu tot cu ovulație şi menstruație. La multe maimuțe şi la cimpanzei, perineul se umflă şi se înroşeşte în timpul ovulației pentru a atrage atenția, iar comportamentul femelelor se schimbă şi el. La oameni, semnalele sunt mai subtile. Perineul nu se inflamează şi, chiar dacă ar face-o, ar fi ascuns între picioare, fiindcă nu obişnuim să mergem în patru labe, ca cei mai apropiați veri ai noştri din rândul antropoidelor. Se pare însă că unele semne discrete există totuşi: studiile sugerează că femeile se îmbracă mai provocator în perioada ovulației, iar un studiu restrâns a arătat că angajatele din cluburile de striptease câştigă mai mult din dansurile erotice în această perioadă (deşi problema se poate privi şi invers: câştigă mai puțin când sunt la menstruație).

Spre deosebire de majoritatea mamiferelor, inclusiv a câinilor, care nu pot copula decât *doggy style*, pe la spate, oamenii au la

dispoziție o varietate uimitoare de poziții, care poate fi pusă pe seama faptului că descindem din primate. Ca animale care atârnă în copaci, antropoidele au articulațiile membrelor foarte mobile, ceea ce le dă libertatea să încerce tot felul de poziții, deşi la speciile nonumane masculul copulează în continuare, de multe ori, de la spate. Dar urangutanii, gorilele şi, în special, cimpanzeii bonobo folosesc uneori poziția „misionarului“. S-a observat că poziția frontală a clitorisului şi a vulvei cimpanzeilor bonobo poate fi o adaptare la acest tip de acuplare, cum este, poate, şi la femei.

Contrar a ceea ce promovează unele religii, sexul nu înseamnă numai procreare – nici la noi, nici la alte animale. Contactul sexual între indivizi de acelaşi sex este caracteristic mai multor specii din întregul regn animal, mai ales speciilor sociale. La maimuțele bonobo, sexul pare să fie un fel de salut prietenesc. Nu e nevoie să le urmăreşti prea mult până să se întâmple ceva interesant – nu stau cumințI deloc. Par să folosească sexul şi pentru a dezamorsa tensiunile şi a evita conflictele. Mare parte din activitatea sexuală la cimpanzeii bonobo nu implică coitul, ci mai degrabă frecarea frecventă a organelor genitale (în cupluri heterosexuale şi homosexuale) şi, ocazional, sexul oral şi sărutul „franțuzesc“.

Mecanismul complex care a evoluat ca spermatozoidul să poată fertiliza un ovul la animalele terestre s-a dovedit a avea mult mai multe utilități, inclusiv cimentarea legăturilor sociale şi simpla plăcere. Am discutat până acum minunatul potențial al organelor reproducătoare, însă ne mai rămâne de analizat o funcție reproductivă. Anatomia mamiferelor placentare de sex masculin este făcută pentru fertilizare – care are un scop precis. (Deşi bărbații au un rol important în susținerea partenerelor însărcinate şi în creşterea copiilor, nu au adaptări anatomice în acest sens.) Dar la femei, aşa cum am mai menționat, sistemul reproducător trebuie să asigure un adăpost fătului. Bineînțeles, lucrurile nu se opresc aici. Fătul trebuie să aibă şi o cale de ieşire, fiindcă la un moment dat va părăsi corpul mamei.

CĂMILA PRIN URECHILE ACULUI

S-a crezut multă vreme că naşterea avea la oameni caracteristici unice, impuse de trăsături anatomice aparte, precum creierul mare şi mersul biped eficient; unele studii recente sugerează însă că, din nou, ne-am grăbit să presupunem că oamenii sunt altfel decât celelalte animale.

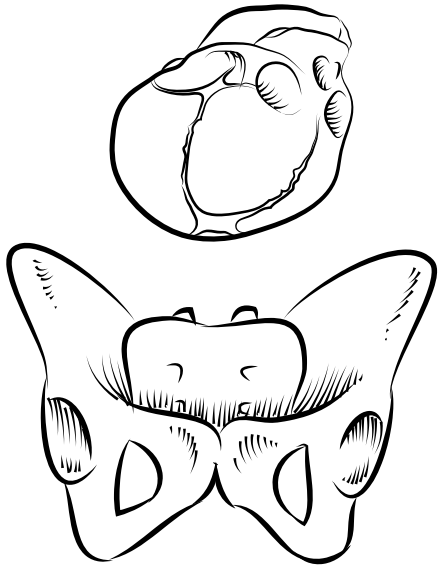
Pelvisul este partea corpului în care se observă cel mai clar diferențele dintre masculi şi femele, diferențe prezente chiar şi la oasele cu rol de sprijin, mai ales la oameni. Pelvisul feminin uman este mult mai larg decât cel masculin; pe lângă faptul că face legătura dintre picioare şi coloana vertebrală, că oferă puncte de prindere muşchilor şoldului, planşeului pelvian şi organelor genitale externe, pelvisul feminin mai are un rol unic: formează canalul naşterii.

Naşterea primului meu copil mi-a dovedit ce ştiam deja: capul nou-născutului de-abia are loc să treacă prin pelvisul mamei. Naşterea celui de-al doilea copil mi-a confirmat observațiile anterioare. Înainte să nasc prima oară, m-am dus la cursuri prenatale, unde noi, viitoarele mame, eram tratate cam de sus (poate ar trebui să spun „moşite“ cam de sus) de o moaşă care flutura un cleşte pentru salată şi o ventuză de desfundat chiuveta, ca să ilustreze ideea de naştere asistată cu forcepsul şi cu vacuum. Probabil că unii părinți au plecat de-acolo cu impresia că nou-născutul lor va fi adus pe lume de un instalator, sau cu lingura. Aceeaşi moaşă a încercat să demonstreze rotația de 270° pe care o face capul fătului când trece prin canalul naşterii. Pe când împingea capul păpuşii printr-un pelvis feminin de plastic, moaşa a spus: „Orificiul pelvian al mamei are un diametru de circa 10 cm, iar capul copilului are şi el tot cam 10 cm. Se potriveşte perfect. Nu-i aşa că natura e minunată?“ Soțul meu (şi am fost extrem de mândră de el în clipa aceea) a comentat: „Cred că natura ar fi şi mai minunată dacă capul copilului ar avea diametrul de 8 cm.“ Absolut, m-am gândit eu. Bine zis. Moaşa a trecut repede mai departe.

Dar ştiam cu mult înainte să ajung în sala de naşteri cât de dificilă este, în mod inevitabil, naşterea. Canalul vaginal nu e cu mult mai larg decât capul fătului, aşa cum observa în mod corect moaşa care ținea cursul prenatal. Sub influența hormonilor ca progesteronul şi relaxinul (numele e cât se poate de adecvat), articulațiile din cor-

pul mamei se relaxează în timpul sarcinii. Simfiza pubiană, articulația cartilaginoasă dintre cele două oase pelviene, se înmoaie şi se poate întinde puțin în timpul travaliului. Capul bebeluşului se poate turti şi el puțin. Plăcile osoase subțiri care formează bolta craniană sunt despărțite de membrane fibroase, astfel că oasele se pot suprapune puțin în drumul spre ieşire; de aceea mulți nou-născuți au o formă a capului asimetrică, dar fenomenul dispare de obicei de la sine la câteva zile după naştere.

Pe lângă faptul că se nasc deosebit de greu, puii de om mai au o trăsătură care trebuie explicată: sunt extrem de neajutorați. Majoritatea primatelor sunt bine dezvoltate şi capabile să se descurce, în mare parte, singure atunci când se nasc. Comparativ, nou-născuții umani sunt neputincioşi, probabil deoarece creierul mai are foarte mult de crescut după naştere. Dacă la cimpanzei mărimea creierului la naştere este de aproximativ 40% din cea a creierului adult, la nou-născuții umani procentul e de doar 30%. Bebeluşii nu se pot deplasa singuri şi nu se pot agăța de mamă, trebuie purtați şi îngrijiți aproape constant; de obicei, trece cam un an până să poată sta în picioare şi să meargă biped. Starea neajutorată a nou-născuților umani are implicații importante pentru societatea umană – se poate să fie însuşi motivul pentru care oamenii au format cupluri şi pentru care în majoritatea societăților, pe lângă părinți, contribuie la creşterea copiilor şi alte persoane, printre care bunicii. Deşi pare a fi un dezavantaj, se poate ca tocmai această neajutorare să fi dus la apariția unei componente importante din identitatea umană, întrucât garantează contactul intensiv între părinți (şi alți îngrijitori) şi copil. Creierul bebeluşului trebuie să crească şi să se dezvolte mult după ieşirea din uter, înconjurat de alți oameni şi impregnat de societatea şi cultura lor. Cum spune Michael Tomasello, psiholog evoluționist, copilul se naşte pregătit pentru cultură aşa cum peştele se naşte pregătit pentru apă. Unii cercetători chiar au sugerat că imaturitatea relativă a creierului nou-născutului uman a fost *selectată* în cursul evoluției. Pentru a supraviețui, depindem enorm de cunoştințele, comportamentul şi aptitudinile pe care le preluăm de la alții. Evoluția ne-a adus aici: capacitatea de a învăța din mediul social s-a dovedit în mod evident avantajoasă pentru strămoşii noştri şi se află chiar la baza succesului nostru ca specie. Mai mult, creierul nostru este gata să acumuleze



Dificultatea naşterii la om: craniul mare al fătului trebuie să treacă prin bazinul mamei.

cunoştinţe dintr-un stadiu de dezvoltare relativ timpuriu şi s-a afirmat chiar că nevoia de a învăţa din mediul social de la o vârstă foarte fragedă a determinat naşterea atât de timpurie a copiilor. Există însă un motiv mai probabil, de natură fizică, pentru care copiii noştri se nasc neajutoraţi.

Dilema obstetrică (DO) este o ipoteză foarte îngrijit construită, care îşi propune să explice atât motivul pentru care naşterea este atât de grea, cât şi faptul că puii de om se nasc foarte devreme, într-o stare de completă neajutorare. Ipoteza sugerează că pelvisul feminin se află sub acţiunea a două forţe evolutive diametral opuse: pe de o parte, solicitările mersului biped, pe de altă parte, nevoia de a da naştere unui copil cu creierul mare. Ideea este că lăţimea pelvisului e limitată de constrângerile mersului pe două picioare; dacă bazinul ar fi mai larg, femeile nu ar putea merge eficient. E însă caracteristic speciei noastre să avem creierul mare şi, deci, nou-născuţi cu creierul mare. Aşadar, lăţimea limitată a pelvisului grăbeşte indirect naşterea: bebeluşul trebuie să se nască când încă mai are loc prin

canalul naşterii. Ipoteza dilemei obstetrice sugerează că pelvisul feminin răspunde acestor solicitări antagonice şi că forma sa reprezintă un compromis. Lățimea pelvisului determină naşterea „timpurie" a copilului, cât încă mai are loc, la limită, prin canalul naşterii. Una dintre concluziile rezultate din ipoteza aceasta este că pelvisul feminin este în mod necesar imperfect din punctul de vedere al mersului biped – şi, prin contrast, că cel masculin ar avea o formă mai practică. Ştim cu toții că, de obicei, bărbații aleargă şi merg mai repede decât femeile şi că şoldurile mai înguste le permit şi să-şi economisească mai bine energia.

În 2012 însă a apărut în *Proceedings of the National Academy of Sciences* o lucrare care punea la îndoială explicația frumos ticluită a ipotezei DO şi care propunea un alt motiv pentru durata gestației umane. Publicarea unei astfel de lucrări este întotdeauna interesantă. O citeşti ştiind că, până să ajungi la sfârşit, perspectiva asupra lumii ți se va fi schimbat puțin. De aceea îmi place atât de mult ştiința: din când în când apare ceva care pune sub semnul întrebării paradigma existentă, întoarce ideile cu susul în jos şi îți zguduie modul de gândire.

M-am dus la New York să mă întâlnesc cu autoarea lucrării din *PNAS*, Holly Dunsworth, şi să aflu de ce considera ea că oamenii nu sunt atât de neobişnuiți pe cât credeam cu toții până atunci. Holly mi-a spus că a pornit de la unele suspiciuni pe care le avea în legătură cu ipoteza DO. Studiind gestația la alte primate, a descoperit că, de fapt, sarcina umană nu era chiar atât de scurtă. Durata ei este de 38 de săptămâni, mai mare decât la orice altă primată mare (de la cimpanzei, cu 32 de săptămâni, la gorile, cu 36 de săptămâni). În funcție de mărimea corpului, primatele au perioade diferite de gestație, iar dacă facem un raport între durata sarcinii şi masa corporală, oamenii au, în continuare, cea mai lungă gestație, chiar cu o lună mai lungă decât ar fi de aşteptat la o primată de mărimea noastră. Se pare aşadar că de-a lungul evoluției umane gestația a devenit *mai lungă*. Cu alte cuvinte, puii de om (în comparație cu alte primate) se nasc de fapt mai târziu, nu mai devreme. În ciuda gestației relativ lungi, creierul mai are mult de crescut în afara uterului, pur şi simplu fiindcă este foarte mare. Ne-am putea întreba de ce n-a fost prelungită gestația ceva mai mult, astfel încât creierul să mai poată creşte

înainte ca bebeluşul să iasă în lume. Un posibil răspuns ar face referire la ipoteza DO: poate că gestația n-a putut fi prelungită fiindcă locomoția feminină ar fi devenit astfel ineficientă.

În ce măsură sunt pelvisurile feminine mai puțin eficiente decât echivalentele lor masculine? Holly mi i-a prezentat pe doi dintre colegii ei, pe care-i interesa întrebarea: Herman Pontzer şi Anna Warrener. Ne-am întâlnit într-un laborator de pe colțul unui cvartal al Hunter College, cu o vedere panoramică asupra New Yorkului. Herman şi Anna chemaseră câțiva studenți să alerge pe o bandă rulantă purtând măşti care le măsurau consumul de oxigen. Rezultatele experimentelor au confirmat descoperirile din alte studii în care s-a analizat eficiența mersului şi a alergatului: anatomia femeilor – în ciuda şoldurilor lor relativ mai largi – este la fel de eficientă precum cea a bărbaților.

Rezultatul m-a surprins, fiindcă mă aşteptam ca muşchii din jurul unui pelvis mai lat să fie nevoiți să depună mai mult efort. Când mergi sau alergi, muşchii abductori de pe exteriorul fesei de deasupra piciorului care se află pe pământ trebuie să tragă cu forță ca pelvisul să nu se lase în jos pe partea opusă. E foarte important să ne menținem pelvisul orizontal, fiindcă astfel putem arunca uşor celălalt picior înainte, pentru pasul următor. Dacă muşchii abductori n-ar acționa asupra şoldului piciorului pe care ne sprijinim, piciorul care vine înainte s-ar târî pe jos. Slăbiciunea acestor muşchi abductori importanți, care survine, de exemplu, la cazurile de poliomielită, duce la un mers ciudat, în care pelvisul se lasă în jos când piciorul se mişcă înainte. Acestui mers şchiopătat i se mai spune şi mersul Trendelenburg, după chirurgul german care l-a descris prima oară.

Dar studiile care analizează eficiența mersului şi alergatului la bărbați şi la femei sugerează că situația nu este chiar atât de simplă. Deşi muşchii aceia abductori ar trebui să depună mai mult efort la o femeie cu pelvisul larg decât la un bărbat, se mai petrec şi alte lucruri grație cărora nu e mai costisitor pentru femei să alerge şi să meargă. Se poate ca diferența să fie reglată prin ajustările subtile ale poziției piciorului în mers. Mai avem un motiv să ne îndoim că solicitările impuse de locomoție, de mersul şi alergatul eficace, au constrâns în mod special pelvisul feminin, anume acela că forma şi mărimea pelvisurilor femeilor din ziua de azi variază enorm. Nu ar

fi existat atâta variație dacă selecția naturală ar fi acționat puternic ca să țină lucrurile sub control.

Descoperirea aceasta – că femeile merg şi aleargă la fel de eficient ca bărbații – elimină una dintre presupusele constrângeri de proiectare a pelvisului: se pare că şoldurile înguste nu prezintă un avantaj deosebit. Mai mult, dovezile fosile arată că pelvisul a trecut prin schimbări importante în timpul evoluției umane. În comparație cu strămoşi mai îndepărtați, cu creier mai mic, pelvisul primilor membri ai genului nostru, *Homo*, au crescut semnificativ. Bun, dar de ce nu s-au lărgit şoldurile feminine şi mai mult, astfel ca naşterea să fie mai uşoară, iar fătul să poată rămâne înăuntru mai mult timp?

Înainte să plec la New York să mă întâlnesc cu Holly şi colegii ei, am colectat şi am congelat timp de două săptămâni mostre mici de urină, după ce am băut apă cu marcatori izotopici. Am trimis mostrele în Statele Unite înainte de plecare. Herman mi-a determinat rata metabolismului în funcție de nivelul izotopilor de oxigen şi hidrogen din urină, iar când am ajuns la New York mi-a arătat un grafic cu rezultatele analizelor. Rata metabolică era cam de două ori mai mare decât cea normală – pentru o femeie care nu era însărcinată. Însă eu eram pe atunci însărcinată în cinci luni: generam energie şi pentru copilul meu care se dezvolta. Herman mi-a spus că, atunci când rata metabolismului avea să ajungă de 2,1 ori mai mare decât cea normală, aveam să intru în travaliu – corpul meu nu mai putea în acel punct să-i asigure copilului energia necesară.

Pronosticul acesta se baza pe date solide. Nu avem încă o metodă precisă de a determina data naşterii la om (sau la orice alt mamifer); potrivit unora, aceasta rămâne „cea mai mare enigmă din biologia reproducerii“. Dar, deşi nu cunoaştem detaliile mecanismului (ce mesaje chimice implică şi în ce fel), se pare că momentul naşterii e hotărât de echilibrul acesta energetic. Naşterea survine când nevoia de energie a fătului amenință să depăşească capacitatea mamei. Aşa cum mi s-a întâmplat şi mie, pe la jumătatea sarcinii rata metabolismului mamei se dublează față de rata metabolică normală, de bază, iar la nouă luni ajunge la aproape de 2,1 x RMB. Trecerea acestui Rubicon energetic coincide cu sfârşitul gestației.

Se pare aşadar că sarcina este limitată de această „criză energetică“, şi nu de mărimea pelvisului. Şi această ipoteză pune însă unele

probleme: bebeluşul, fireşte, continuă să crească şi să aibă nevoie de energie şi după naştere, iar la mamifere, inclusiv la noi, tot mama asigură această energie sub forma laptelui. De fapt, un nou-născut are nevoie de *mai multă* energie decât atunci când era în uter, fiindcă necesitățile lui metabolice cresc încontinuu. Cu toate acestea, după naştere, *viteza* creşterii ratei metabolice a mamei scade. Criza energetică este probabil cauzată de creşterea bruscă a nevoii de energie a fătului în uter – o nevoie la care corpul mamei nu poate reacționa suficient de repede. După naştere, nevoia de energie a copilului va creşte constant, dar într-un ritm mai lent, cu care mama poate ține pasul.

Ipoteza crizei energetice este atrăgătoare, fiindcă ne oferă o explicație a duratei gestației umane, care nu este neapărat unică, întrucât acelaşi mecanism se manifestă şi la alte mamifere placentare. La toate mamiferele, durata gestației şi mărimea nou-născuților depind de masa corporală a mamei.

Noua ipoteză a crizei energetice pare să explice calendarul naşterii umane mai bine decât vechea dilemă obstetrică. Conform ei, copiii se nasc atunci când nevoia de energie a fătului creşte prea rapid. După cum arată fosilele, pelvisul hominizilor s-a lărgit progresiv pentru a face loc copiilor cu creierul mai mare, dar numai până la un punct. Chiar dacă pelvisul s-ar mai lărgi, copiii tot nu ar putea rămâne în uter mai multă vreme, fiindcă momentul naşterii depinde de saltul acela brusc de energie. Dar ipoteza tot mai lasă ceva neexplicat, anume dificultatea naşterii la om.

Avem oare dreptate să spunem că naşterea este mult mai grea la om decât la alte specii? În principiu, da, mai ales dacă luăm în considerare majoritatea mamiferelor; dacă ne gândim însă la primate, şi ele întâmpină greutăți. Astfel de comparații sunt greu de făcut, fiindcă s-au observat destul de puține naşteri la primatele nonumane. Se pare totuşi că cimpanzeii, gorilele şi urangutanii, cu pelvisurile lor late, au naşteri relativ uşoare. Maimuțele însă nu stau la fel de bine. Patrupedele au în general pieptul îngust şi lung, iar pelvisul respectă această formă, ceea ce duce la o naştere dificilă. În special la marmosete şi la maimuțele-veveriță, pelvisul mamei este doar cu puțin mai mare decât capul fătului.

Nu se poate spune, aşadar, că mamiferelor le este uşor şi că doar oamenii au o naştere grea. Există însă un spectru al dificultății şi se

pare că naşterea umană se află, într-adevăr, la extrema acestui spectru – este mai lungă şi, din câte se pare, mai dureroasă decât la oricare altă primată. Deşi capul fătului de-abia trece prin orificiul pelvian, naşterea e poate mai uşoară la maimuțe, fiindcă au umerii înguşti. Nou-născutul uman, cu umerii relativ lați şi capul mare, trebuie să efectueze trei rotații, acoperind 270°, la trecerea prin canalul naşterii. Din cauza acestor rotații, oamenii se nasc de obicei cu fața în jos, în timp ce maimuțele se nasc adesea cu fața în sus. Mama maimuță îşi poate ajuta copilul să iasă în lume trăgându-i capul în afară atunci când se iveşte, dar să tragi în sus de capul unui nou-născut uman – îndoindu-i gâtul în spate – este foarte periculos. Spre deosebire de alte primate, care caută să se izoleze în timpul naşterii, mamele umane tind să caute ajutor. Aşadar, meseria de moaşă este probabil foarte veche.

Pe lângă faptul că este dureroasă, naşterea este şi riscantă. Nepotrivirea dintre pelvisul mamei şi capul fătului poate duce la un travaliu distocic, situație în care bebeluşul *nu se poate* naşte pe cale naturală şi sunt puse în pericol atât viața mamei, cât şi a fătului. Deşi în majoritatea societăților umane mamele caută ajutor în travaliu, distocia rămâne o problemă importantă.

Se estimează că, la nivel mondial, fenomenul acesta afectează între trei şi şase naşteri din o sută, dar un studiu recent din vestul Africii a arătat că acolo incidența travaliului distocic este mult mai mare – apare la o naştere din cinci. Pare ciudat că pelvisul feminin nu s-a lărgit mai mult în timpul evoluției, dat fiind că distocia amenință serios viața mamei şi a nou-născutului.

Deşi nu explică durata gestației umane şi neajutorarea bebeluşilor, dilema obstetrică are totuşi ceva util de spus în legătură cu dificultatea naşterii. Deşi acum locomoția este la fel de eficientă la femei şi la bărbați, poate că dacă pelvisul feminin s-ar lărgi mai mult eficiența *ar fi*, totuşi, compromisă. Dar nici ideea aceasta nu pare pare stea în picioare. Să punem efectele în balanță: pe de o parte, un pelvis mai larg ar însemna că mersul şi alergarea ar necesita mai multă energie; pe de altă parte, un pelvis mai îngust, cu o mai mare eficiență energetică, ar pune în pericol viața mamei şi a copilului. Pare un târg dezavantajos. Consecințele unui pelvis prea îngust în naşterea unui copil surclasează de departe orice dezavantaj locomotor.

Este foarte improbabil ca selecția naturală să fi impus o dimensiune a pelvisului care să compromită într-un asemenea grad supraviețuirea.

Şi atunci cum se explică frecvența atât de mare a distociei la unele populații din ziua de azi? Chiar şi incidența medie de trei-şase naşteri din o sută pare mare. Poate că selecția naturală nu a avut încă timp să acționeze: poate că naşterea dificilă este un fenomen foarte recent, pe care strămoşii noştri nu îl trăiau nici pe departe la fel de des ca noi. Ideea pare să fie susținută atât de descoperirile arheologice, cât şi de datele actuale.

Nu avem prea multe dovezi solide, dar dovezile anecdotice din comunitățile contemporane de vânători-culegători sugerează că aici distocia este foarte rară. Este rară şi în arheologie: am găsit doar câteva schelete feminine, în situri din perioade istorice diferite, care să aibă fătul blocat în pelvis. Situația este foarte diferită în comunitățile agricole contemporane, mai ales acolo unde malnutriția infantilă afectează populația feminină, astfel încât femeile sunt de obicei mai scunde şi au pelvisul mai mic. În aceleaşi comunități, accesul femeilor la servicii de obstetrică este de obicei limitat.

Distocia este mult mai puțin frecventă la femeile care nasc în societățile dezvoltate din prezent. Pot apărea probleme din cauză că mamele au avut un regim alimentar cu indice glicemic ridicat – cu alte cuvinte, un regim care duce de obicei la creşterea cantității de zahăr din sânge. Ca urmare, creşte greutatea bebeluşilor la naştere, aşa că aici problema ține mai degrabă de mărimea fătului decât de lărgimea pelvisului.

În țările mai sărace, în care malnutriția duce la o rată ridicată a distociei şi unde accesul la servicii obstetrice este limitat, se poate ca selecția naturală să acționeze chiar acum, favorizând femeile care au pelvisuri mai late sau care au feți mai mici. În țările mai bogate, unde obstetricienii sunt gata să intervină când naşterea devine dificilă, selecția naturală este eludată. Mamele şi bebeluşii au şanse mari de supraviețuire, chiar dacă nepotrivirea dintre lățimea pelvisului mamei şi mărimea capului bebeluşului face naşterea vaginală periculoasă sau chiar imposibilă. Scalpelul obstetricianului şi chiar mâna salvatoare a moaşei sunt mai puternice decât coasa selecției naturale.

Se poate ca strămoşii noştri să fie de fapt responsabili pentru naşterile dificile din societățile contemporane. Ajutorul primit în timpul

travaliului a redus presiunea selectivă care defavoriza copiii cu capul mare sau mamele cu pelvisul îngust. Aşadar, avem naşteri dificile în prezent, *fiindcă* suntem o specie cooperantă: avem nevoie de ajutor în timpul naşterii, fiindcă strămoşii noştri *au beneficiat* de ajutor în timpul naşterii. Meseria de moaşă este considerată drept una dintre cele mai vechi şi se pare că, odată ce a fost nevoie de moaşe, ele au devenit indispensabile pentru totdeauna.

Am dedicat mult timp analizei pelvisului şi găsirii de indicii evolutive care ne trimit la strămoşii din rândul peştilor şi al amfibienilor, am aflat cum au rezolvat animalele de uscat problema reproducerii şi am descoperit că mărimea pelvisului uman feminin nu pare să limiteze durata gestației. Se poate chiar să fi aflat ceva nou despre clitoris şi despre penis. Dar, pe lângă faptul că adăposteşte organele reproducătoare şi formează canalul naşterii, pelvisul mai are o sarcină – constituie legătura dintre trunchi şi picioare.

DESPRE NATURA MEMBRELOR

ÎNOTĂTOARE, MEMBRE ŞI STRĂMOŞI

„Odinioară, cu toții pluteam pe mare, apoi am fost peşti, apoi şopârle, apoi şobolani, apoi maimuțe, şi sute de animale între acestea. Mâna asta a fost odinioară o aripioară de peşte, mâna asta a fost odinioară o gheară!“[1]

TERRY PRATCHETT

1. Terry Pratchett, *O pălărie plină de cer*, trad. de Cristina Jinga, Corint Junior, Bucureşti, 2007, p. 375 (n. tr.).

MUGURII MEMBRELOR ŞI CARTILAJELE DE CREŞTERE

Ca să aflăm cum ți s-au format membrele, trebuie să ne întoarcem într-un stadiu timpuriu de dezvoltare embrionară. Cu puțin după patru săptămâni de la concepție, embrionul se rulează şi se transformă din disc trilaminar plat într-o serie de cilindri concentrici. De o parte şi de alta a capului se văd discurile îngroşate care vor forma lentilele ochilor şi labirinturile umplute cu lichid ale urechilor interne. Gâtul e flancat de o serie de arcuri faringiene asemănătoare cu branhiile. De o parte şi de alta a axei corpului, pe spate, se văd câte un lanț de somite şi două perechi de proeminențe care vor deveni brațe şi picioare. La început, mugurii membrelor nu sunt altceva decât o masă de țesut conjunctiv embrionar neataşat – provenind din stratul de mijloc al discului germinativ trilaminar, mezodermul („gemul“ din sendvişul embrionar) – îmbrăcată într-un strat exterior de ectoderm. În săptămâna a şasea, mugurii membrelor s-au alungit, iar capetele s-au aplatizat, formând segmentele distale, viitoare palme şi tălpi. În timpul săptămânii a şaptea, în aceste segmente încep să moară celule.

Este o etapă normală a dezvoltării; sculptarea unui corp uman presupune procese în care celulele mor, dar şi cresc şi proliferează. Moartea celulelor este importantă fiindcă reduce cantitatea de informație genetică necesară pentru construirea unui corp. De fapt, este un proces fundamental în dezvoltarea embrionară a oricărui animal cu organism complex. În multe cazuri, este mult mai simplu pentru organism să genereze țesut în exces şi să cioplească până ajunge la forma necesară decât să programeze atent un tipar complex. Un exemplu grăitor este sistemul nervos în dezvoltare: creierul nou-născutului conține în jur de 90 de miliarde de celule nervoase, adică neuroni,

care se împuținează până când, în creierul uman adult, nu mai rămân decât aproximativ jumătate din numărul inițial. Procesul acesta de triere ocoleşte neuronii şi sinapsele care se dovedesc utile; este o manifestare fizică a învățării, dar şi a faptului că este mult mai uşor să produci o masă mare de neuroni la început, pe care să-i reduci la numărul necesar după ce şi-au stabilit conexiunile, decât să programezi atent legăturile fiecăruia. Fiica mea de trei ani ştie acest lucru. Dacă face un desen cu lipici şi sclipici, mai întâi desenează conturul cu lipici. Apoi, în loc să presare cu grijă sclipiciul pe urmele de lipici, îl cerne peste toată foaia de hârtie şi înlătură excesul. În dezvoltarea ochiului, celulele care mor îi permit veziculei cristalinului să se detaşeze de ectodermul de suprafață care o acoperă. Moartea programată a celulelor – care se sinucid – sapă tuburi în fâşiile de țesut: astfel se formează inițial vasele de sânge ale embrionului. Compartimentele inimii se formează atât prin moartea celulelor, cât şi prin creşterea lor, iar la capetele membrelor în dezvoltare, la om, şoareci şi păsări, moartea celulelor permite separarea degetelor. Dacă moartea programată a celulelor nu se mai produce, degetele de la mâini şi de la picioare rămân lipite.

Dacă la exterior membrul se dezvoltă din mugur într-un braț sau un picior în miniatură, lucrurile sunt la fel de dinamice şi de interesante şi pe dinăuntru. În centrul mezodermului, celulele embrionare se grupează şi se diferențiază în celule cartilaginoase. În săptămâna a şasea, membrul conține mici structuri cartilaginoase care prefigurează oasele de mai târziu. Intervine din nou moartea celulară, de data aceasta pentru a forma articulațiile dintre structurile cartilaginoase. Celulele care înconjoară cavitatea nou formată a articulației vor alcă-

Brațul şi mâna în formare la embrionul uman

tui cartilajul care îmbracă suprafața oaselor la încheietură şi membrana care conține lichidul sinovial alunecos ce lubrifiază articulația.

În săptămâna a opta, partea din mijloc a structurilor cartilaginoase începe deja să se osifice, iar procesul continuă până când, la naştere, nu mai rămân cartilaginoase decât capetele „oaselor“. După naştere, apar segmente de osificare şi acolo, dar acestea se unesc cu axul de-abia după mulți ani. Oasele cresc atât de repede tocmai pentru că păstrează în structura lor puțin cartilaj. Acesta capătă formă de disc, prins ca într-un sendviş între ax şi capătul oaselor lungi ale membrelor. Discul se numeşte „cartilaj de creştere“ şi dispare de-abia atunci când capătul osului se contopeşte cu axul, după ce oasele îşi încheie dezvoltarea, spre sfârşitul adolescenței. Odată ce dispare stratul de cartilaj, osul nu mai poate creşte în lungime. La unele oase, fuziunea se produce foarte târziu – cartilajul de creştere de la capătul interior al claviculei rămâne deschis şi neosificat ani buni după începutul maturității, iar fuziunea completă se petrece de-abia în jurul vârstei de 30 de ani.

Cum cartilajele de creştere fuzionează în perioade diferite şi după un program destul de fix (deşi în biologie totul este supus variației), stadiul lor ne poate indica destul de exact dacă un copil se dezvoltă normal. Cartilajele de creştere ne pot ajuta şi să determinăm vârsta scheletelor juvenile găsite în siturile arheologice. Iată un exemplu dintr-un sit de vikingi de pe insula Anglesey din nordul Țării Galilor.

Situl se află pe terenul unei ferme, aproape de coasta de nord-vest a insulei, şi are o vedere minunată spre regiunea Snowdonia. A fost descoperit de un căutător de metale, care a găsit acolo o monedă vikingă. A urmat apoi o investigație a arheologilor de la National Museum din Țara Galilor, sub conducerea dr. Mark Redknap. Situl avea să aducă primele dovezi ale existenței aşezărilor vikinge în Țara Galilor, fiind perfect situat ca popas pe rutele comerciale dintre ținuturile scandinave şi aşezările din nord-vestul Angliei, vestul Scoției şi Irlanda. S-au făcut săpături acolo vară de vară, timp de mai bine de un deceniu, şi mi-a făcut plăcere să mânuiesc mistria la multe dintre ele, ca osteoarheolog rezident. S-au descoperit mai multe morminte în timpul numeroaselor sezoane de săpături, inclusiv cinci schelete, într-un şanț de la marginea aşezării. „Mormânt“ este poate un termen prea formal: era clar că rămăşițele fuseseră aruncate

în şanț fără urmă de respect. Un schelet masculin adult ținea mâinile atât de aproape una de cealaltă, sub trunchi, încât era clar că fusese îngropat cu mâinile legate. Oricine fuseseră oamenii aceştia, suferiseră probabil un sfârşit prematur. Două dintre schelete le aparțineau unor tineri.

Am ajutat şi eu la dezgroparea scheletelor, dar munca mea a continuat mult după aceea. După ce au fost aduse la Museum of Wales din Cardiff, scheletele au fost curățate meticulos, iar fragmentele de oase au fost reasamblate. Apoi mi-a venit rândul să le cercetez, în încercarea de a afla cât mai multe despre oamenii aceia de demult.

Scheletul numit „mormânt 2“ avea multe oase lungi la care axul nu fuzionase cu capătul osului. Capetele boante ale axelor şi capetele separate, ca nişte capace, ale oaselor aveau aspectul tipic, vălurit, al osului care se află lângă un cartilaj de creştere nefuzionat. Cartilajul este moale şi dispare după îngropare, lăsând în urmă doar părțile osoase ale scheletului. Am cercetat cu atenție tiparul fuziunii cartilajelor de creştere. Capătul inferior al humerusului (osul din segmentul superior al brațului) era nefuzionat – contopirea completă se petrece în jurul vârstei de 17 ani; bazele falangelor nu erau nici ele contopite – ceea ce se întâmplă înainte de 16 ani; dar cele trei oase care formează articulația şoldului se contopiseră, iar procesul acesta începe la vârsta minimă de 11 ani. Toate acestea îmi arătau că scheletul îi aparținuse cuiva cu vârsta cuprinsă între 11 şi 16 ani. În plus, scheletul avea o dentiție bine conservată, iar o analiză atentă a dinților mi-a permis să restrâng intervalul de vârstă. Apăruse al doilea set de molari, dar al treilea (măselele de minte) nu erupsese încă; coroanele dinților erau complete, dar rădăcinile nu se formaseră. Aşadar, copilul murise probabil la 12-13 ani.

Deşi mă consider obiectivă, sunt totuşi om şi mi-e imposibil să analizez astfel de rămăşițe (mai ales când e vorba, după toate aparențele, de o moarte violentă) fără să mă întristez. Sfârşitul vieții copilului şi al celorlalți oameni aruncați în şanț este învăluit în mister, dar arheologii lucrează în continuare la cazul acesta nerezolvat, vechi de secole, în încercarea de a înțelege ce s-a întâmplat în colțul acela al Țării Galilor cu atât de multă vreme în urmă. Să fi fost vorba oare de nişte victime locale ale unui raid viking? Sau de

colonişti vikingi ucişi de localnicii galezi? Sau de nişte victime ale unui conflict în cadrul aceleiaşi populaţii? Analiza chimică a smalţului dinţilor poate rezolva enigma originii osemintelor şi sugerează că ar fi fost vorba de nişte vikingi, dar împrejurările anume ale morţii sunt greu de elucidat în cazul unor rămăşiţe atât de vechi. Sunt nevoită să pun punct aici. Sarcina mea, ca osteoarheolog, s-a terminat după ce am măsurat oasele, mi-am scris observaţiile şi am fotografiat scheletul. Am pus oasele în cutia lor de carton cu aciditate redusă şi mi-am văzut de treabă.

DANSUL MIOTOMURILOR

E, desigur, foarte bine că în membrele tale de embrion s-au format oase, dar nu-ţi vor fi de mare folos dacă nu ai muşchi care să le pună în mişcare. În fond, acesta este unul dintre principalele motive pentru care ai oase – asigură un sistem de scripeţi asupra căruia să acţioneze muşchii. Muşchii membrelor au migrat din fragmentele de ţesut segmentat care se aflau de-o parte şi de alta a coloanei vertebrale în curs de dezvoltare pe când erai un embrion minuscul. Iniţial, segmentele de ţesut muscular rămân separate, dar mai târziu blocurile de muşchi încep să se contopească şi să se despartă, formând muşchii definitivi ai membrelor, iar cei mai mulţi conţin ţesut care vine din două sau trei (sau mai multe) segmente originale, cunoscute sub numele de somite. În partea din faţă a braţului de adult, bicepşii brahiali (bicepşi, pe scurt) conţin muşchi care îşi au originea în a cincea şi a şasea somită cervicală. Tiparul de inervaţie al muşchilor la maturitate aminteşte de originea lor embrionară; nervul musculocutan care deserveşte bicepsul, conţine fibre nervoase motorii care provin din al cincilea şi al şaselea nerv spinal cervical. Coborând în palmă, găsim muşchi inervaţi de al optulea nerv spinal cervical (C8) şi de primul nerv spinal toracic (T1). Dacă îndoi degetele, C8 este cel care transmite în mare parte impulsul nervos la muşchi; când răsfiri degetele, acţionează T1. Termenul „miotom“ se referă atât la partea unei somite care va deveni muşchi al scheletului, cât şi la grupul de muşchi care, la adult, îşi au originea comună într-un miotom embrionar şi, în consecinţă, sunt inervaţi de acelaşi nerv spinal.

Studenții la medicină învață dispunerea miotomurilor în membre, nu ca să ştie care e originea muşchilor în embrion, ci ca să ştie ce muşchi vor fi afectați dacă are de suferit un anume nerv spinal. Un *aide-mémoire* pentru a reține asocierile între nervii spinali şi muşchi şi acțiunile acestora este „dansul miotomurilor“. Coregrafia nu e deloc complexă: antrenează un şir de rădăcini ale nervilor spinali consecutivi şi mişcările cu care se asociază acestea la membrul superior (brațul şi palma) şi la cel inferior (cum insistăm să îi spunem noi, anatomiştii, piciorului). Pe YouTube există o mulțime de astfel de dansuri ale miotomurilor.

Tiparele muşchilor şi nervilor din membrele adulte, care amintesc de originile segmentale din embrion, nu sunt nici pe departe apanajul oamenilor. În linii mari, le avem în comun nu doar cu alte mamifere, ci şi cu toate patrupedele. Ca membru al grupului vertebratelor de uscat, ai membrele aliniate cu coloana într-un mod anume: membrele superioare (echivalente cu labele din față ale patrupedelor) se despart de trunchi acolo unde coloana cervicală trece la cea toracică. Membrele inferioare (echivalente cu labele din spate) se aliniază cu punctul de tranziție de la coloana lombară la cea sacrală – acelaşi lucru e valabil şi la amfibieni, şi la reptile, şi la păsări, şi la mamifere. Este clar că „modelul“ patrupedelor are această limitare – nu există patrupede cu membrele la jumătatea toracelui sau la baza cozii. E posibil să fie vorba de o limitare de ordin funcțional: animalele cu membrele plasate ciudat nu s-ar putea deplasa adecvat şi ar fi eliminate prin selecție naturală. Sau poate fi vorba de o constrângere mai elementară, adânc întipărită în genomul nostru. După cum a descoperit grupul de cercetători condus de Denis Duboule, genele de control principal *Hox*, care determină segmentarea pe axa corpului, determină şi tiparele membrelor. Poate că, dacă ne-am face de lucru cu genele *Hox* şi le-am modifica astfel încât membrele să crească în alte locuri, am încurca în aşa măsură planul corpului, încât n-ar mai putea exista un organism viabil.

Aşa cum am văzut deja la atâtea structuri, detaliile anatomice nu apar din senin. Evoluției îi place să recicleze, să redirecționeze şi să ajusteze. Membrele patrupedelor nu au apărut din senin în clipa în care strămoşii noştri din rândul peştilor au ieşit pe uscat; strămoşii noştri aveau deja un apendice, sub forma înotătoarelor.

ÎNOTĂTOARE ŞI MEMBRE

Legătura dintre înotătoare şi membre nu este o noutate. Englezul Richard Owen, biolog şi expert în anatomia comparată, a abordat problema în cartea lui *On the Nature of Limbs* din 1849, în care compara membrele mamiferelor şi ale păsărilor cu înotătoarele peştilor.

Richard Owen a fost un biolog prestigios în secolul al XIX-lea şi a adus contribuții importante în domeniu, dar a ajuns o figură controversată, detestată aproape unanim. Darwin, care era de altfel un gentilom victorian cu purtări blânde, scria că îl ura pe Owen. Richard Owen urma să devină doctor şi a studiat medicina la Edinburgh şi apoi la Londra, dar, după ce şi-a obținut diploma, a întors spatele carierei clinice şi s-a dedicat cercetărilor anatomice, devenind profesor şi conservator al muzeului de pe lângă Royal College of Surgeons. În 1956, Owen a devenit administratorul Departamentului de istorie naturală din British Museum şi a supravegheat transferul departamentului în noua sa casă din South Kensington – numită acum pur şi simplu Natural History Museum.

Cercetările lui Owen erau extrem de ample. A studiat şi a scris lucrări despre nevertebrate precum bureții-de-mare, crabii-potcoavă şi nautilii, dar şi despre tot felul de vertebrate. A observat că unele reptile preistorice aveau trăsături de mamifere şi a inventat cuvântul „dinozaur“, care înseamnă „şopârla înfiorătoare“. Puteți vedea cum anume credea Owen că arătau dinozaurii la Crystal Palace Park, unde se mai găsesc încă unele dintre modelele pe care le-a reconstituit pentru Expoziția Internațională.

Owen pare să fi avut un talent deosebit în a-şi face duşmani. A plagiat studiile altor oameni de ştiință şi a fost dat afară din Consiliul de Zoologie din Royal Society, distrugându-şi definitiv reputația. Pe Owen l-a înfuriat se pare faptul că cel pe care el îl considera un începător scrisese o carte atât de influentă despre evoluție; în 1860 a publicat o recenzie anonimă la *Originea speciilor* a lui Darwin în *Edinburgh Review*. E o lectură greu de digerat. În ea, Owen insistă pe faptul că Darwin nu era primul om de ştiință care discutase „transmutația speciilor“ şi sugera că mulți „naturalişti mai tineri au fost ispitiți să accepte […] selecția naturală“.

Poate sunt prea sensibilă când vine vorba de Darwin, dar nu pot să nu percep o notă deloc subtilă de batjocură în observația potrivit căreia: „Nici un naturalist nu a dedicat o atenție mai meticuloasă structurii crustaceelor decât dl Darwin“. În continuare, Owen enumără ceea ce consideră el a fi adevăratele contribuții darwiniene la domeniul istoriei naturale: observațiile despre anatomia crustaceelor, comportamentul furnicilor şi al albinelor, posibilitatea ca păsările limicole să transporte semințe în nămolul de pe picioare şi caracteristicile porumbelului domestic. „Acestea“, scrie Owen în recenzia lui, „sunt cele mai importante observații originale […], sunt, în aprecierea noastră, adevărate bijuterii – ce-i drept, puține şi rare“… Au!

Owen nu neagă evoluția în recenzia respectivă, dar pune la îndoială mecanismul propus de Darwin, şi anume selecția naturală. Dimpotrivă, el vedea apariția speciilor ca pe un proces prestabilit, guvernat de „o forță creativă care acționează continuu“. Ideea aceasta se opune direct teoriei evoluției prin selecție naturală a lui Darwin, în care nimic nu era planificat dinainte, iar schimbările surveneau pur şi simplu ca urmare a modului de interacțiune a organismelor cu mediul. Pe Owen îl contraria în special ideea că animalele pot trece prin schimbări considerabile: că o specie se poate transforma în altă specie.

Cu unsprezece ani în urmă, când scrisese *On the Nature of Limbs*, Owen părea mai deschis față de ideea schimbării substanțiale a organismelor în timp. La sfârşitul cărții observa: „Natura […] a înaintat cu paşi înceți şi maiestuoşi, îndrumată de lumina arhetipală […] din întâia întrupare a ideii de Vertebrată sub vechea ei haină Ihtică [de peşte], până ce s-a înveşmântat în straiele glorioase ale formei Umane.“ Nu agrea deloc ideea că oamenii s-ar fi tras din maimuțe (mergea chiar atât de departe, încât ne punea pe noi, oamenii, într-o subclasă proprie de mamifere), dar se pare că putea accepta că, în timpuri mai îndepărtate, oamenii s-ar fi tras din peşti. Este clar că Owen credea într-o *scala naturae*, al cărei apogeu erau oamenii. Pentru el, membrele diferitelor animale reprezentau variațiuni pe aceeaşi temă, sau variațiuni ale aceluiaşi arhetip, întipărite cumva într-un plan prestabilit. Deşi nu era creaționist în sensul deplin al cuvântului, Owen credea că evoluția fusese îndrumată, dacă nu de o zeitate, măcar de o forță căreia el îi spunea „Natură“.

Deşi concluziile lui Owen ne par bizare astăzi, observaţiile lui erau meticuloase şi recunoştea asemănarea profundă dintre membrele animalelor terestre şi înotătoarele peştilor. Mai recunoştea şi că nu fusese el primul care observase similaritatea:

„«Membrele» la care se referă prezentul discurs sunt cele ale seriei vertebrate a animalelor; acestea sunt părţile numite «braţe» şi «picioare» la om; «picioare din faţă» şi «din spate» la fiare; «aripi» şi «picioare» la lilieci şi păsări; «înotătoare pectorale» şi «înotătoare ventrale» la peşti. Omologia aceasta aparte este de mult desluşită şi acceptată […]."

În continuare, Owen descrie asemănarea fundamentală între membre cu aspect diferit, ca „înotătoarea" în formă de vâslă a dugongului, membrul anterior al cârtiţei, aripa liliacului, piciorul calului şi membrele umane. Remarcă de asemenea faptul că aspectul exterior şi funcţia acestor membre diverse pot prezenta diferenţe izbitoare, dar spune că „aceasta nu trebuie să ne mire; nu ar putea fi altminteri; unealta trebuie să se potrivească scopului ei". Apoi însă enumeră diferitele metode inventate de om ca să se deplaseze prin apă şi aer, pe şi pe sub pământ, „corabia şi balonul, motorul de locomotivă al lui Stephenson şi maşinăria de săpat tuneluri a lui Brunel", menţionând că dispozitivele acestea nu sunt legate de nici un aspect de proiectare comun. Dacă *scopul* membrelor animalelor ar fi fost unica forţă care le-a determinat alcătuirea, susţinea el, ar fi de aşteptat să fie mult mai diverse şi să nu prezinte similarităţile acestea profunde, fundamentale.

Owen atrăgea atenţia asupra asemănărilor dintre membrele *aceluiaşi* organism: „Oricine poate vedea cum coapsa oglindeşte braţul [superior] […], piciorul [pulpa] – antebraţul, glezna – încheietura mâinii, laba piciorului cu cinci degete – palma cu cinci degete […]." În alcătuirea membrelor, oasele braţului şi ale piciorului sunt şi ele surprinzător de asemănătoare.

Făcând comparaţii între specii, Owen remarcă faptul că la braţul uman şi la piciorul din faţă al calului sunt prezente aceleaşi elemente, deşi la cal numărul de degete s-a redus la unu. Similarităţile sunt vizibile şi la aripa liliacului. Acum ştim că omologia membrelor diverselor animale reflectă o omologie profundă în codul genetic –

în genele *Hox*. Owen observa asemănări profunde şi la înotătoarele peştilor şi vedea chiar şi corespondența dintre degetele mâinii şi razele înotătoarei. Mai târziu se va dovedi că aici se înşela – palma sau talpa de la capătul unui membru de patruped pare a fi, într-adevăr, o invenție nouă, care implică un tipar complet diferit al exprimării genei *Hox* la capătul membrului în dezvoltare, nu o variațiune a unei structuri preexistente la înotătoarele strămoşilor noştri din rândul peştilor. Deşi e greu de crezut că strămoşii noştri patrupezi şi-au dezvoltat degete noi atât la membrele anterioare, cât şi la cele posterioare în acelaşi timp, se pare totuşi că în generarea degetelor de la mâini şi de la picioare este implicat un singur „comutator" genetic – via genele *Hox*.

Când s-a produs transformarea aceasta formidabilă? Pentru a răspunde, trebuie să ne întoarcem la fosilele animalelor preistorice care înaintau către uscatul neexplorat.

SAGA GROENLANDEZĂ

În 1987, paleontologul Jenny Clack căuta fosile în Groenlanda. Ştia ce căuta – rămăşițe vechi de 365 de milioane de ani. În anii 1930, un grup de paleontologi suedezi descoperiseră câteva fragmente bizare de craniu în estul Groenlandei, iar noua specie fusese botezată *Acanthostega* („armură țepoasă", după țepii de os care îi ieşeau din craniu). În 1971, un student la geologie s-a întors din estul Groenlandei cu câteva fosile care aparțineau şi ele unui *Acanthostega*. Jenny Clack s-a întors la sit ca membră a unei echipe anglo-daneze, în speranța de a găsi şi alte fragmente din scheletul acestui animal. Şi a găsit – de data aceasta nu doar cranii, ci, în mod incredibil, şi câteva schelete aproape complete, fosilizate.

Vietatea aceasta este teribil de importantă pentru că ne oferă indicii excelente despre tranziția de la peşti la primele vertebrate de uscat. *Acanthostega* are aproximativ două treimi dintre cele 41 de caracteristici anatomice care definesc un patruped, dar seamănă incontestabil şi cu un peşte.

Acanthostega e o creatură cu aspect destul de bizar. Aduce, sau cel puțin mie aşa mi se pare, cu un triton uriaş. Avea o lungime de aproximativ un metru şi capul turtit. Legătura dintre cap şi gât era

ciudată – se pare că se baza pe o extensie a notocordului în cutia craniană. Trăsătura aceasta nu se mai regăseşte decât la unii peşti şi la embrionii altor vertebrate din ziua de azi: la tetrapodele actuale, inclusiv la oameni, partea din spate a craniului se articulează cu coloana. Una dintre trăsăturile de peşte ale acestui animal este scheletul din jurul faringelui, care arată în mod clar că *Acanthostega* avea branhii. La fel ca la peşti – dar nu şi la majoritatea tetrapodelor –, corpurile şi arcurile neurale ale vertebrelor sale erau foarte asemănătoare pe toată lungimea coloanei. Dar, în ciuda trăsăturilor de peşte, *Acanthostega* avea şi membre. Membre adevărate, cu degete. Multe degete.

Toate tetrapodele din ziua de azi au cel mult cinci degete la extremitatea membrelor. Pare deci rezonabil să presupunem că ne tragem cu toţii dintr-un strămoş cu cinci degete, numit şi „pentadactil".

(Este un fapt interesant în sine, întrucât implică faptul că a avea cinci degete este o trăsătură „primitivă". Un animal cu mai puține degete s-ar afla, prin urmare, într-un stadiu mai „evoluat". Înțelegi ce vreau să spun. Poate te consideri „foarte evoluat", dar ce înseamnă asta, în fond? În privința degetelor de la mâini şi de la picioare, cel puțin, eşti chiar foarte primitiv. Calul, care are un singur deget la capătul fiecărui membru (şi, culmea, este chiar cel mijlociu, *digitus impudicus*, ceea ce înseamnă că toți caii fac un gest ofensator la fiecare pas), este mai evoluat în acest sens. Tu şi cu mine suntem categoric primitivi în privința aceasta. Sper că nu te-am jignit, dar mai sper şi ca această mică paranteză să te convingă că „primitiv" şi „evoluat", deşi sunt termeni folositori pentru reconstituirea arborelui genealogic al vieții în general, nu au conotație valorică. O caracteristică survenită în urma evoluției nu este, în sine, „mai bună" decât o trăsătură primitivă.)

A fost deci o adevărată surpriză când paleontologii au descoperit degetele lui *Acanthostega* – toate opt. Fosila superb conservată a unui membru anterior întreg se termina cu o abundență de degete. Labele posterioare nu s-au păstrat la fel de bine, dar se pare că tetrapodul acesta primitiv avea cel puțin opt degete şi la picioarele din spate.

Membrul anterior era remarcabil şi în alte privințe: nu avea o articulație a încheieturii propriu-zisă, ceea ce înseamnă că nu susținea greutatea corpului. Faptul a contrazis aşteptările – în fond, la ce

serveau membrele dacă nu ca să-i permită animalului să iasă din apă şi să meargă pe uscat? *Acanthostega* i-a obligat pe oamenii de ştiință să pună problema altfel, fiindcă se pare că primele membre au evoluat nu pentru a facilita mersul pe uscat, ci pentru a ajuta animalul să înainteze prin apă. Ne amintim din nou de tendința evoluției de a recicla şi a refolosi părțile anatomice.

De la descoperirea lui *Acanthostega*, s-au găsit multe alte tetrapode şi cvasitetrapode timpurii, aşa că acum punctul acesta de trecere de la animalele acvatice la cele de uscat este înconjurat de un arbore genealogic destul de stufos, compus din speciile cunoscute.

Există câteva specii timpurii de tetrapode care au mai mult de cinci degete la fiecare membru, dar variabilitatea aceasta se reduce mai târziu la numărul familiar şi mai compact de cinci, înainte să se dezvolte membrele care susțineau greutatea corpului. Dar, înainte să se dedice vieții pe uscat, se pare că primele tetrapode, ca *Acanthostega*, au trăit în medii diverse, de la lacuri cu apă dulce la lagune şi estuare salmastre. Dacă ne gândim la anatomia acestui animal şi la reconstituirile mediului în care trăia, ne putem închipui ce fel de viață ar fi putut avea. Să ne imaginăm creatura aceasta preistorică, asemănătoare cu un triton, cu capul turtit pe verticală şi opt degete la fiecare membru. Trăieşte în mlaştini tropicale calde, puțin adânci, şi se deplasează vâslind cu membrele, croindu-şi drum prin vegetația densă – ca un triton uriaş prin plantele dintr-un iaz. Se furişează spre creaturile mai mici care plutesc aproape de suprafață, sparge oglinda apei în ultima clipă şi le înhață, mestecându-şi scurt hrana înainte s-o înghită cu două rânduri de dinți ascuțiți. E bine adaptat la mlaştinile acestea puțin adânci, dar membrele nu i-ar putea susține greutatea dacă ar încerca să iasă pe uscat. După ce mor, unele dintre creaturile acestea se scufundă în nămolul de pe fundul mlaştinilor tropicale în care locuiesc. După vreo 365 de milioane de ani, noroiul de odinioară a devenit rocă în estul Groenlandei, iar paleontologii o sparg puțin câte puțin ca să elibereze tetrapodele primitive din mormântul lor pietrificat.

Deşi *Acanthostega* este o rudă foarte îndepărtată a noastră şi, pe deasupra, acvatică, organismul său mai prezintă o schimbare importantă în afară de transformarea înotătoarelor în membre. Evoluția membrelor din înotătoare a presupus o reorganizare a modului de

prindere a acestor apendice de restul scheletului. Devenind membre anterioare, înotătoarele pectorale s-au desprins de partea din spate a craniului, de care erau ataşate la peşti. La fel, când au devenit membre posterioare, înotătoarele ventrale s-au prins foarte bine de coloana vertebrală. Se credea că peştii din care s-au tras tetrapodele aveau înotătoare pectorale mai puternice decât cele ventrale şi că, odată cu evoluția amfibienilor, s-a produs o transformare, iar membrele posterioare au devenit mai puternice. Dar descoperirea oaselor pelviene ale peştelui-fosilă *Tiktaalik* pune la îndoială ipoteza „tracțiunii pe față“, sau cel puțin împinge schimbarea înapoi în timp, înainte de apariția tetrapodelor. Pelvisul peştelui *Tiktaalik* are cam aceeaşi mărime precum centura scapulară (echivalentă cu omoplații şi clavicula ta), aşadar înotătoarele ventrale deveniseră deja mai puternice înainte să apară membrele.

Majoritatea tetrapodelor de azi se folosesc şi acum de tracțiunea pe spate. În sens foarte general, modul în care membrele umane se ataşează de schelet urmează tiparul tetrapodelor. Membrele superioare, echivalente cu cele anterioare ale animalelor cu patru picioare, se leagă flexibil de piept prin centura scapulară (formată din claviculă şi scapule). Dimpotrivă, membrele inferioare, sau picioarele, echivalentele membrelor posterioare ale patrupedelor, sunt prinse foarte bine de coloana vertebrală prin centura pelviană.

Gândeşte-te cum se leagă umărul şi pelvisul tău de scheletul trunchiului. Omoplatul „pluteşte“ pe partea din spate a cutiei toracice, de care este legat doar prin muşchi; în față este legat prin puntea îngustă a claviculei de stern, sau osul pieptului. Dacă pui o mână pe umărul opus, vei simți cu uşurință creasta scapulei. Acum mişcă brațul liber – ridică-l şi coboară-l, roteşte-l înainte şi înapoi – şi vei simți cum se mişcă omoplatul pe spate. Oasele pelviene, dimpotrivă, sunt sudate destul de solid de partea inferioară a coloanei – de osul sacru. Este imposibil să mişti bazinul fără să mişti şi coloana. Poți verifica şi singur cu un experiment scurt: roteşte şoldurile într-o parte şi în alta, cu o mână la baza coloanei. Articulațiile sacro-iliace, aflate între partea superioară a pelvisului, numită ilion, şi laturile osului sacru, sunt mari şi sunt întărite de ligamente masive.Trebuie să fie mari şi stabile, fiindcă poartă o greutate mare când stăm în picioare şi când

mergem, iar sarcina lor devine şi mai grea când alergăm sau sărim. Ele sunt punctul de contact între membrele inferioare şi coloană. Trebuie să facă față unei presiuni mari, întrucât, aşa cum au spus – oarecum – cei din formația REM (se pare că nu erau prea tari la anatomie), „ai picioare ca să te ducă undeva".[1]

1. Parafrază după un vers din piesa *Stand* a formației REM – „*your head is there to move you around*" („ai cap ca să te ducă undeva") (n. tr.).

DE LA ŞOLD
LA DEGETELE DE LA PICIOARE

ÎNTÂI ÎNVĂȚĂM SĂ MERGEM,
APOI SĂ ALERGĂM

„Laba piciorului omenesc este o capodoperă de inginerie, o operă de artă.“

LEONARDO DA VINCI

DOUĂ PICIOARE BINE[1]

Majoritatea verilor noştri patrupezi, fie ei reptile, amfibieni sau mamifere, au rămas credincioşi modului lor de locomoţie iniţial – deplasarea pe uscat pe patru picioare. Dar nu toate tetrapodele sunt şi patrupede – multe dintre ele au ales, după cum ştim, o cu totul altă cale. Unele tetrapode au renunţat cu totul la existenţa terestră, preferând întoarcerea la un stil de viaţă acvatic. Balenele, delfinii şi marsuinii sunt tetrapode, potrivit moştenirii lor evolutive, dar nu mai sunt patrupede terestre. Alte tetrapode au evoluat ca să se poată ridica de la pământ şi îşi folosesc membrele ca să zboare prin aer la fel de uşor cum înoată peştii prin apă. Creaturile acestea eterice sunt descendentele reptilelor; mai precis, sunt descendentele dinozaurilor. Ar trebui de fapt să le clasificăm drept dinozauri, ceea ce înseamnă că nu toţi dinozaurii au dispărut acum 66 de milioane de ani: unii au supravieţuit, au prosperat şi se află în continuare printre noi – sunt dinozaurii cu pene şi aripi pe care îi cunoaştem sub numele mai comun de păsări. (Data viitoare când te apropii de o pasăre, fie că e vorba de un măcăleandru din grădină, de un pescăruş de pe chei sau de o găină de la fermă, priveşte-o adânc în ochii-i insondabili. Ai în faţă un dinozaur!) Unele tetrapode au rămas legate de pământ, dar şi-au pierdut complet membrele – şerpii au avut strămoşi cu patru picioare, ca şi noi –, iar altele se deplasează pe uscat pe doar două dintre cele patru picioare. Un exemplu sunt păsările, care îşi strâng aripile atunci când catadicsesc să meargă pe jos. Există însă şi

1. Referire la sloganul din *Ferma animalelor*, de George Orwell: „Patru picioare bine, două picioare rău!“ (n. tr.).

câteva mamifere bipede, printre care cangurii şi cangurii wallaby, şoarecii-cangur, rozătoarele jerboa şi *noi*.

Dacă ar fi să rezumăm în câteva cuvinte diferența crucială dintre noi şi alte primate antropoide, acestea ar fi: creier şi mers biped. Mărirea creierului este o temă importantă în evoluția umană, dar, cu mult înainte să ni se mărească creierul, strămoşii noştri au început să meargă *în mod obişnuit* pe două picioare – diferență majoră între noi şi orice altă primată antropoidă din prezent. Este important să subliniem că mersul biped *era ceva obişnuit*, fiindcă şi celelalte antropoide se pot deplasa pe două picioare, dar nu merg aşa tot timpul, ca noi.

Ca urmare a poziției verticale şi a mersului şi alergatului pe două picioare, avem forma şi mărimea picioarelor (şi ale pelvisului, care leagă membrele inferioare de coloană) foarte diferite de cele ale altor primate antropoide: oamenii de azi au pelvisul în formă de lighean, articulații relativ mari ale şoldului şi genunchilor, genunchii uşor înclinați spre înăuntru (cu toții avem picioarele puțin în X), o formă diferită a articulației gleznei, laba piciorului făcută să absoarbă şocuri şi degetele de la picioare mai mici, cu cel mare paralel cu celelalte. Trăsăturile acestea nu au apărut toate deodată – ar fi fost foarte ciudat să se întâmple aşa.

Ajungem astfel la forțele care ne modelează anatomia. De ce are corpul tău forma pe care o are? ADN-ul joacă un rol principal, firește, dar nici măcar genele şi celelalte elemente ale ADN-ului care le influențează nu determină o schemă precisă a corpului, ci doar îi orientează dezvoltarea şi stabilesc parametrii în care anatomia poate varia. Forma şi mărimea diverselor trăsături vor fi modelate, în cadrul limitelor respective, de factorii din mediu. Un exemplu în acest sens este nutriția. Să ne imaginăm doi gemeni identici genetic, dintre care unul creşte cu un regim alimentar deficitar, iar celălalt este bine hrănit. Nu ar fi de mirare dacă al doilea geamăn ar ajunge mai solid şi mai înalt decât primul. De fapt, nu se poate trasa o linie de demarcație clară între factorul genetic şi influența mediului asupra dezvoltării, structurii şi funcționării organismului. Unele studii destul de recente au arătat că anumite influențe de mediu funcționează prin intermediul genelor, care suferă modificări chimice ce le schimbă funcția. Tot recent s-a descoperit şi că aceste modificări ale genelor se pot moşteni împreună cu genele în sine. Studiul acestor schimbări

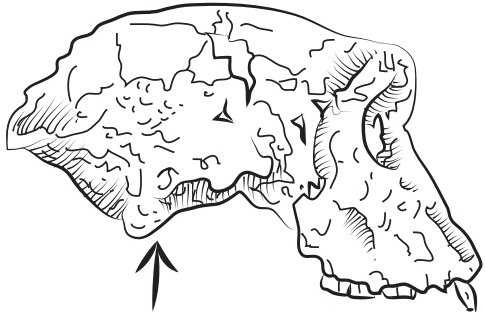
se numeşte epigenetică (a nu se confunda cu conceptul dezvoltării embriologice, care presupune diferențierea țesuturilor complexe din țesuturi mai simple: epigeneza). Dincolo de influențele pe care le-am considera „normale“, mai există o forță care acționează la nivel anatomic: patologia. Termenul acoperă o mulțime de neajunsuri: probleme cu ADN-ul, care pot apărea din erori de duplicare şi duc la defecte congenitale; boli metabolice; cancer; infecții cu bacterii şi virusuri; malnutriție, fie că este vorba de lipsa generală a hranei sau de lipsa unor elemente anume, ca vitaminele; şi traumele fizice.

Dacă ne concentrăm pe aspectele pe care le-am putea numi variațiuni ale „anatomiei normale“ (excluzând patologia), este evident că trăsăturile pe care le considerăm acum strict umane şi care ne deosebesc de primatele antropoide de azi nu au apărut cât ai clipi, ci treptat, ca într-un mozaic. Crenguța arborelui vieții pe care ne situăm noi şi speciile preistorice care ne sunt strămoşi *nouă*, dar nu şi celorlalte antropoide din ziua de azi, a înmugurit acum circa şase-şapte milioane de ani. Cele aproximativ douăzeci de specii pe care le conține sunt hominide. Faptul acesta are o însemnătate foarte precisă în clasificarea biologică. Aparținem unei familii mai ample, Hominidae (adică hominizi, sau primate antropoide mari), care ne include pe noi, cimpanzeii, gorilele, urangutanii şi toți strămoşii noştri. Dar în cadrul familiei Hominidae există subfamilia Homininae (gorilele, cimpanzeii şi oamenii), iar în cadrul ei, tribul numit Hominini (hominii) – clubul exclusivist al oamenilor şi al strămoşilor lor. Primii noştri strămoşi hominini au trăsături care arată că practicau destul de frecvent mers biped; de fapt, tocmai de aceea presupunem că sunt strămoşii noştri şi nu ai celor mai apropiate rude ale noastre în viață, cimpanzeii.

În 2001, o echipă condusă de paleontologul francez Michel Brunet a descoperit în Ciad un craniu fosilizat, incomplet şi deformat, vechi de şase-şapte milioane de ani. Era vorba de o specie nouă, numită *Sahelanthropus tchadensis*, cunoscută mai ales după porecla „Toumai“, care înseamnă „speranță de viață“ în limba goran, vorbită în regiune. Cutia craniană descoperită era foarte mică, dar prezenta câteva caracteristici interesante, care sugerau că aparținuse unuia dintre strămoşii noştri hominini. În comparație cu cimpanzeii moderni, care au mandibule proeminente, Toumai are fața aplatizată. Dar e

posibil ca în partea posterioară a craniului să se afle un indiciu şi mai important – legat de poziția găurii occipitale mari – orificiul larg de la baza craniului pe unde iese trunchiul cerebral, pentru a forma măduva spinării. La craniile de cimpanzeu, *foramen magnum* se află aproape de partea din spate a craniului. Craniul lui Toumai este foarte deformat, dar s-a sugerat că la el *foramen magnum* se afla mai în față şi că, prin urmare, craniul lui ar fi stat în echilibru deasupra unei coloane verticale. Distincția pare subtilă, dar legătura aceasta între poziția găurii occipitale mari şi coloana verticală se aplică şi la alte animale. Şobolanii-cangur, bipezi, au *foramen magnum* poziționat mai în față decât la şoarecii patrupezi; acelaşi lucru se observă şi la cangurii wallaby, tot bipezi, prin comparație cu cangurii de copac patrupezi. Din păcate, poziția orificiului variază mult atât la craniile de om, cât şi la cele de cimpanzeu, aşadar nu putem fi siguri dacă Toumai a fost într-adevăr o primată antropoidă cu poziție verticală şi bipedă: un hominin.

În domeniul paleoantropologiei sunt o mulțime de dezbateri – ceea ce-l face cu atât mai interesant. Una dintre problemele importante legate de craniul lui Toumai este că e *doar* un craniu. Circulau zvonuri că s-ar fi descoperit tot atunci şi un femur, dar osul nu a fost descris în nici o publicație. Deşi poziția găurii occipitale mari la Toumai sugerează că ar fi mers pe două picioare, nu putem fi siguri fără dovezi din restul scheletului. Nu toată lumea este de acord cu interpretarea pe care o dă Brunet craniului lui Toumai: unii cercetători cred că Toumai nu este nicidecum hominin şi că ar fi un strămoş comun al cimpanzeilor şi al oamenilor. Sau chiar o gorilă preistorică.

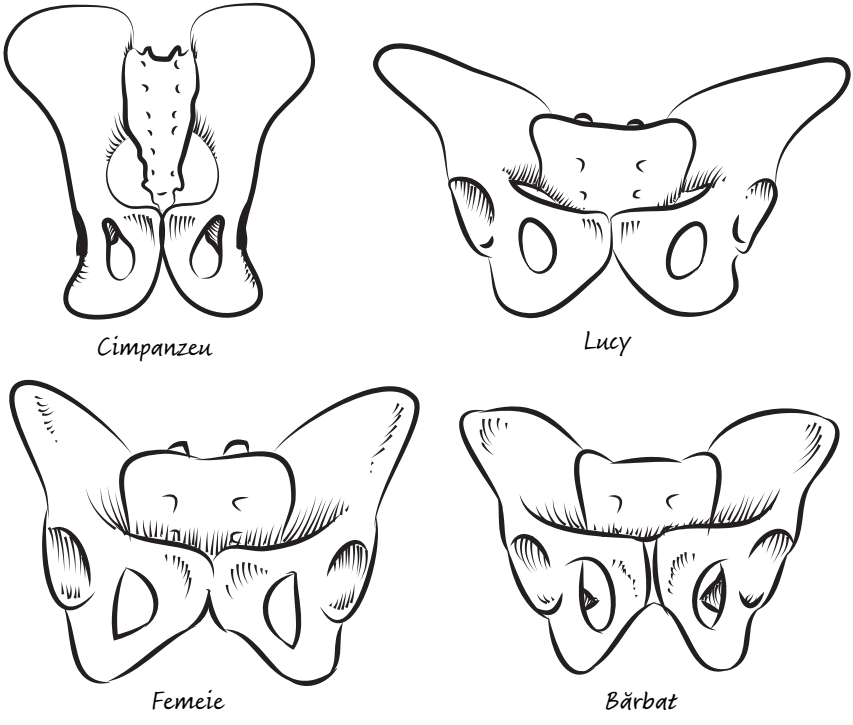


Toumai – săgeata indică poziția găurii occipitale mari.

ŞOLDURILE LUI LUCY ŞI GENUNCHIUL LUI JOHANSON

La fosilele mai noi, ne putem orienta şi după alte părți ale scheletului; unul dintre cel mai bine conservate şi mai celebre schelete de hominin este Lucy, descoperită de Don Johanson în 1974. Johanson făcea parte dintr-o echipă de antropologi americani, britanici şi francezi care lucrau în regiunea Afar din nordul Etiopiei, în situl de la Hadar, care conținea sedimente fosilifere vechi de aproximativ trei milioane de ani.

Am avut norocul să o cunosc pe Lucy în timp ce filmam pentru documentarul *Prehistoric Autopsy* de pe BBC Two. Un episod se concentra asupra lui Lucy şi asupra speciei ei, *Australopithecus afarensis* („primata antropoidă sudică din Afar"), şi, pe lângă faptul că aveam în studio un mulaj fidel după scheletul ei, comandasem şi o reconstituire la scară reală, pe care am prezentat-o la sfârşitul episodului.



Şoldurile lui Lucy, ale cimpanzeului şi ale omului

Lucy e mărunțică, măsoară numai un metru şi nu încape nici o îndoială că specia ei face parte din tribul Hominini şi că era o primată antropoidă care se deplasa în mod curent pe sol, pe două picioare. Şoldurile ei au o formă deosebit de umană – complet diferită de cea a şoldurilor de cimpanzeu. Osul superior al bazinului, ilionul, este scurt şi lat la hominini, spre deosebire de forma înaltă şi îngustă a ilionului de cimpanzeu.

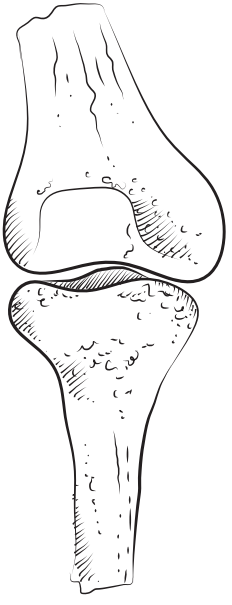
Ilionul lat al homininilor este foarte important pentru poziționarea unor mușchi esențiali în jurul articulației şoldului. De suprafața exterioară a ilionului se ataşează trei mușchi gluteali, care se prind şi de gâtul femural: *gluteus maximus*, *medius* şi *minimus*. *Gluteus maximus*, un mușchi foarte mare, după cum sugerează şi numele, se află deasupra celorlalți doi. Este un extensor puternic al articulației şoldului, care trage coapsa înapoi în raport cu bazinul. Îl foloseşti când te ridici din poziția aşezat sau când urci scările, ca să-ți îndrepți picioarele îndoite. Ceilalți doi mușchi gluteali se prind de părțile laterale ale pelvisului şi coboară spre un punct de sprijin care iese în afară din gâtul femural, numit marele trohanter. Aceşti mușchi nu întind articulația şoldului, ci deplasează coapsa în lateral, într-o mişcare de „abducție“. Dar adevărata lor importanță pentru noi, homininii care ne deplasăm preponderent biped, vine din faptul că se contractă pentru a stabiliza articulația şoldului, fără s-o mişte propriu-zis. Contracția se produce la fiecare pas. Când ridici talpa de pe sol şi te pregăteşti pentru pasul următor, te sprijini pe un singur picior. În momentul acela, bazinul tinde să se lase în jos pe partea fără sprijin – dacă s-ar întâmpla acest lucru când încerci să faci pasul, ai ajunge să-ți târăşti laba piciorului. Dar mușchii abductori ai şoldului (*gluteus medius* şi *minimus*) de pe piciorul de sprijin se contractă şi trag bazinul în jos, spre femur, împiedicându-l să se lase în partea opusă.

Vedem cât de importantă este dispunerea aceasta a mușchilor în jurul articulației şoldului atunci când cineva îşi *pierde* uzul mușchilor *gluteus medius*, în caz de lezare a nervului care îi deserveşte. Când un astfel de pacient face un pas înainte, pelvisul, nefiind susținut de *gluteus medius* pe piciorul de sprijin, se lasă pe piciorul în mişcare. Pentru a compensa, pacientul îşi va trage tot corpul spre partea piciorului de sprijin. Rezultatul este un mers şchiopătat, smucit, numit „mersul *gluteus medius*“ sau „mersul Trendelenburg“. Friedrich Tren-

delenburg a fost un pionier german al chirurgiei care a trăit între 1844 şi 1924 şi al cărui nume a rămas în istorie prin mai multe probleme chirurgicale, teste şi tratamente, printre care şi felul acesta anormal de a merge, un test şi o operație pentru venele varicoase.

După cum arată pelvisul său larg, Lucy nu avea un mers smucit, în stil Trendelenburg, şi se pare că nici nu mergea cu şoldul şi genunchiul îndoiți ca ai cimpanzeului. Coloana ei lombară s-ar fi curbat în spate, formând curbura concavă numită lordoză, la fel ca la noi, oamenii, pentru a ține în echilibru greutatea trunchiului deasupra bazinului.

Există şi alte indicii potrivit cărora Lucy ar fi mers cu genunchii destul de drepți. Primele fragmente de schelet fosil botezate *Australopithecus afarensis* au fost chiar capătul inferior al unui femur şi capătul superior al unei tibii. Fosilele acestea, dezgropate cu un an înainte ca acelaşi paleoantropolog să o descopere pe Lucy, au primit numele de „genunchiul lui Johanson". În mod crucial, aceste fosile arată că femurul şi tibia formau un unghi – semn că mersul biped era ceva obişnuit. Genunchiul acesta preistoric a fost suficient pentru ca Johanson să-şi dea seama că avea de-a face cu o primată antropoidă



Genunchiul lui Johanson

bipedă: un hominin. La patrupede, femurul este de obicei drept, iar articulația genunchiului nu formează un unghi, dar la oameni şi la strămoşii lor bipezi femurul are o înclinație spre interior şi formează un unghi acolo unde întâlneşte genunchiul. Deşi nu-ți dai seama, ai picioarele puțin în X, mai ales în comparație cu verii tăi cimpanzei. Când mergi, îți balansezi greutatea corpului ba pe un singur picior, ba pe celălalt, iar pentru asta trebuie să-ți aşezi talpa chiar sub centrul de greutate. Te ajută în acest scop femurul înclinat şi genunchiul care formează un unghi.

Unghiul bicondilar nu le este util decât celor care țin picioarele drepte în mers, aşa că prezența sa la un schelet sugerează că australopitecii, ca şi noi, mergeau cu genunchii drepți, nu îndoiți. E un mers mult mai eficient – încearcă să umbli puțin cu şoldurile şi genunchii îndoiți şi vei vedea cât efort trebuie să depună muşchii, mai ales cvadricepşii din partea din față a coapsei.

Deşi e atât de util pentru mersul biped eficient, unghiul bicondilar creează o problemă pentru picioarele în X. Cvadricepsul mare, cu patru capete, care constituie mare parte din musculatura părții din față a coapsei, trece peste articulația genunchiului, unde se află rotula, îmbrăcată în tendonul ei, şi se ataşează de o proeminență din partea din față a tibiei. Fiindcă femurul prezintă un unghi, forma şi muşchiul cvadriceps îi urmează exemplul, iar traiectoria lui nu trece prin centrul articulației genunchiului, ci merge puțin în lateral. Aşadar, când îți contracți cvadricepşii ca să-ți îndrepți genunchiul, rotula e trasă puțin în lateral – spre exteriorul genunchiului. Anatomia compensează acest neajuns (altfel rotula ți s-ar disloca tot timpul): pe buza exterioară a adânciturii din femurul inferior, în care stă rotula, se află o ridicătură pronunțată, iar prinderea fibrelor cărnoase ale capului medial al cvadricepsului se extinde mai jos decât capul lateral, astfel încât partea medială a acestui muşchi contribuie la tragerea rotulei către mijloc, împiedicând-o să se disloce. De rotulă se mai prind şi țesuturi fibroase tari, care o țin şi ele pe loc.

Mai jos, spre gleznă şi laba piciorului, apar şi mai multe indicii potrivit cărora specia lui Lucy ar fi mers în mod obişnuit pe două picioare. Articulațiile gleznelor sunt de tip balama, formate de tibie şi osul ei partener din partea de jos a piciorului, peroneul, precum şi de osul superior al tălpii – talusul. Mare parte din sarcina pe care o

susține articulația este susținută de talus şi tibie, în timp ce peroneul întăreşte articulația. Părțile inferioare ale tibiei şi peroneului sunt legate strâns una de alta pentru a stabiliza articulația gleznei. Ambele oase au proeminențe care coboară de o parte şi de alta a talusului, pe care îl prind şi îl țin pe loc. Dacă te uiți în jos la picior şi tragi degetele în sus, spre tine, mişcarea pe care o faci se numeşte dorsiflexie. Acum îndreaptă-ți degetele în jos – tocmai ai făcut o plantarflexie. Ambele mişcări îşi au originea în balamaua formată de articulația gleznei. Îți poți roti şi talpa spre interior (inversie) sau spre exterior (eversie). Mişcările acestea *nu* au loc în articulația gleznei, ci mai jos, în laba piciorului.

Anatomia gleznelor şi a labei piciorului arată că tălpile noastre iau contact ferm cu pământul. Gleznele cimpanzeilor diferă de ale noastre, în sensul că au un „set inversat" – cu alte cuvinte, gleznele lor orientează uşor tălpile spre interior. La oameni, suprafața articulară a tibiei, unde aceasta se articulează cu talusul, este perpendiculară pe axa tibiei. La cimpanzei, formează un unghi care produce inversia aceea naturală a tălpii. În plus, gleznele cimpanzeilor permit piciorului o flexiune amplă în sus, la un unghi de aproximativ 45° cu fluierul piciorului, ceea ce îi ajută să se cațăre cu uşurință pe trunchiuri verticale de copaci. Gorilele, urangutanii şi gibonii seamănă cu cimpanzeii în privința aceasta. Oamenii, în schimb, nu îşi pot îndoi talpa în sus (termenul tehnic este dorsiflexie) din poziția ei normală, perpendiculară pe fluierul piciorului, decât la 15°, astfel încât formează un unghi de circa 75° cu fluierul piciorului. Dacă am forța talpa până la 45° (lucru perfect normal la alte primate antropoide), glezna ar avea de suferit.

La om, laba piciorului arată foarte diferit de cea a altor antropoide. La cimpanzeu, e evident că e vorba de o parte a corpului proiectată pentru a apuca. Laba piciorului este flexibilă, cu degete lungi, iar degetul mare iese în afară cam ca degetul mare de la mână. La tine, laba piciorului arată cu totul altfel: e mai rigidă, cu „boltă" (pe care eu, ca anatomist, aş numi-o arcul longitudinal medial), rezultată din forma oaselor şi susținută de ligamente şi tendoane. Partea exterioară, laterală, a tălpii are şi ea o boltă, mai puțin evidentă, şi un arc transversal, care se întinde dintr-o parte în cealaltă a labei piciorului, pe lățime.

Arcurile acestea fac din laba piciorului o platformă flexibilă. Atunci când mergi sau alergi, elasticitatea ligamentelor şi a tendoanelor care

Laba piciorului la cimpanzeu și la om

susțin arcurile te ajută să conservi puțină energie la fiecare pas – tendoanele se întind puțin când piciorul atinge solul şi îşi revin când piciorul se desprinde. Degetele sunt relativ scurte în comparație cu degetele vărului tău, cimpanzeul, iar cel mare e aşezat, ordonat, alături de celelalte. E un picior făcut pentru mers şi alergat, nu pentru apucat lucruri. (Dar încă mai ai în laba piciorului toți muşchii pe care îi are cimpanzeul, aşa că îți poți dezvolta totuşi potențialul de a apuca. Cei care nu îşi mai pot folosi mâinile, sau care s-au născut fără, ne arată că ne putem redescoperi facultatea prehensilă a labelor picioarelor.)

În anul 2000 s-a descoperit în regiunea etiopiană Hadar un os foarte bine conservat din laba piciorului. Pe parcursul a 25 de ani s-au recuperat din situl respectiv peste 250 de fosile, toate cu o vechime de aproximativ 3,2 milioane de ani, şi toate par să fi aparținut membrilor speciei lui Lucy, *Australopithecus afarensis*. Este probabil ca osul acesta să aparțină şi el aceleiaşi specii. Mai precis, este vorba de al patrulea metatarsian de la piciorul stâng: un os important, fiindcă prezintă o răsucire pe lungime care arată că a făcut parte dintr-un picior asemănător cu al omului, cu arc transversal – un picior asemănător cu al tău, şi nu cu piciorul plat al cimpanzeului.

URME DE TĂLPI PREISTORICE

Oasele fosilizate nu sunt singurul motiv pentru care credem că australopitecinele mergeau în mod frecvent pe două picioare, asemenea nouă. Deşi fosilele ar fi de ajuns, există totuşi şi alte dovezi, în Tanzania, greu de contrazis.

Acum aproximativ 3,7 milioane de ani a erupt pe teritoriul Tanzaniei de azi vulcanul numit Sadiman, care a aruncat în atmosferă nori enormi de cenuşă. Era sezonul ploios şi, după ce s-au aşezat pe sol norii de cenuşă, a început să plouă; rezultatul a fost un nămol fin, lipicios. Animalele au umblat pe acolo, lăsându-şi urmele: elefanți, girafe, antilope, bibilici şi unii strămoşi ai noştri. Trei hominizi preistorici au străbătut întinderea de cenuşă şi au lăsat urme care, în mod neaşteptat, s-au conservat timp de milioane de ani. În 2011 am mers în Tanzania şi am făcut cunoştință cu cineva care acum organizează tabere de safari pentru turişti şi echipe de televiziune. Lucram la un program despre alimentație de-a lungul evoluției umane şi speram să filmăm un grup de vânători-culegători Hadza, care trăia în inima pădurii. Numele organizatorului era Peter Jones şi mi se părea că îl mai auzisem undeva.

În 1977, înainte să înceapă să organizeze safariuri, Peter a lucrat cu echipa lui Mary Leakey la Laetoli, în Tanzania, căutând fosile de hominini, şi a găsit ceva ce aducea a urme de tălpi umane în stratul preistoric de cenuşă. Era o descoperire uimitoare, care a ajuns pe prima pagină a ziarelor când Mary Leakey a vorbit la mai multe conferințe de presă în SUA, în cursul aceluiaşi an. Urmele de la Laetoli arătau, fără umbră de îndoială, că acum aproape patru milioane de ani homininii mergeau în poziție verticală.

O analiză atentă a urmelor, efectuată de Robin Crompton la University of Liverpool (unde li s-a măsurat adâncimea prin scanare cu laser şi s-a calculat presiunea pe care o exercita piciorul atunci când păşea în cenuşa cleioasă), ne-a arătat şi *cum* mergeau homininii de la Laetoli. Ei aparțineau probabil speciei ale cărei fosile s-au găsit în apropiere: neamul lui Lucy, *Australopithecus afarensis*. Urmele din cenuşă oferă dovezi de sine stătătoare care confirmă deducțiile formulate pe baza scheletelor fosilizate ale acestei specii preistorice. Din nou, urmele arată că homininii mergeau cu picioarele drepte, nu cu şoldurile şi genunchii îndoiți, ca cimpanzeii.

LIMITĂRILE LABEI PICIORULUI LA OM

Dar când s-au schimbat gleznele şi labele picioarelor strămoşilor noştri? Pentru a răspunde la întrebare, trebuie să aruncăm năvodul în alte ape şi să analizăm rude mai îndepărtate care trăiesc şi astăzi, precum şi strămoşi hominini mai vechi. În plus, trebuie să fim foarte atenți la variația anatomiei *şi* a funcționării ei la primatele antropoide de azi, inclusiv la noi. Se prea poate ca locomoția umană să fie mai variată decât ne-am închipui prin prisma stilului nostru de viață.

Să luăm, în primul rând, gleznele. Am observat că la om laba piciorului nu se îndoaie ca la cimpanzeu. Un test rapid mă convinge că şi gleznele mele intră în aceeaşi categorie şi probabil că şi ale tale la fel. Dar, ca şi mine, şi tu ai crescut într-o țară în care nu prea ne cățărăm în copaci. Anatomia nu e determinată doar de gene, ci şi de mediu. Oare cum ar fi arătat articulațiile gleznelor noastre dacă ne-am fi cățărat pe trunchiuri verticale de copaci de la o vârstă fragedă?

Unii oameni moderni se cațără în copaci mult mai mult decât te-ai cățărat tu, probabil, toată viața. Există societăți moderne de vânători-culegători care se cațără frecvent pentru a obține unele fructe şi tipuri de vânat şi (mai ales) miere. Obiceiul de a urca în copaci până la înălțimi amețitoare de peste 50 m pentru a ajunge la miere este foarte bine documentat la populațiile mbuti şi efe din pădurea Ituri din Republica Democrată Congo şi la populația batek din Malaysia. E o activitate periculoasă, care merită efortul atât pentru mierea în sine, cât şi pentru prestigiul pe care îl aduce. Uneori se foloseşte echipament de cățărat, mai ales dacă trunchiul este foarte gros, dar pe trunchiurile mai subțiri vânătorii de miere urcă fără ajutor.

Dar oare cât de mult îşi îndoaie glezna aceşti oameni atunci când se cațără? Recent, un grup de antropologi i-au filmat pe vânătorii-culegători twa din Uganda, tocmai pentru a răspunde la întrebarea aceasta. Bărbații din populația twa care urcau în copaci după miere aveau articulațiile gleznei mult mai flexibile decât le am eu. Dorsiflexia lor chiar depăşea 45° în timpul cățărării. Flexibilitatea aceasta suplimentară a gleznei pare să se explice prin anatomia țesuturilor moi, mai ales prin rigiditatea muşchilor gambei, şi nu prin configurația osoasă a articulației gleznei. Dacă oamenii de astăzi se pot cățăra astfel, probabil că la fel făceau şi homininii timpurii, ca Lucy.

Anatomia noastră e mai flexibilă decât ne închipuim, mai ales dacă îndeplinim o activitate în mod regulat şi de la o vârstă fragedă.

Cum rămâne, aşadar, cu laba piciorului mai jos de gleznă? Aici par să existe diferenţe evidente între piciorul omului şi al altor primate antropoide; la fel de evident este că laba piciorului de cimpanzeu, de exemplu, şi-a păstrat flexibilitatea preistorică, în timp ce la noi s-a rigidizat. Talpa noastră are bolte şi ligamente puternice, care la alte antropoide lipsesc.

Dacă ne extindem căutarea dincolo de primatele antropoide, la maimuţe, descoperim ceva destul de interesant. Labele picioarelor de maimuţă nu sunt deloc atât de flexibile; din contră, sunt destul de rigide, ceea ce le ajută foarte mult atunci când sar: ar fi mai greu şi mai puţin eficient să îţi iei avânt folosind ca pârghie un picior mai flexibil. Dar primatele africane sunt prea mari ca să poată sări prin copaci asemenea maimuţelor şi se descurcă cu labe mai flexibile. Acestea sunt, după cum am văzut, chiar foarte elastice, foarte bune pentru apucat şi seamănă mult cu mâinile. Se crede de multă vreme că laba piciorului trebuie să fi fost iniţial la hominini foarte asemănătoare cu cea a cimpanzeului, dar faptul că la maimuţe aceasta este mai rigidă ne sugerează existenţa altor posibilităţi. E rezonabil să presupunem că şi labele picioarelor primatelor preistorice ar fi fost mai rigide.

Descoperirea unui set de fosile aparţinând speciei numite *Ardipithecus ramidus*, vechi de aproximativ 4,4 milioane de ani, i-a obligat pe paleoantropologi să privească din alt unghi labele picioarelor umane (şi, poate, şi alte elemente ale scheletului hominin). Picioarele lui „Ardi“, cum i s-a spus, seamănă mai mult cu ale maimuţelor decât cu ale primatelor antropoide africane. Spre deosebire de alţi hominini, la Ardi degetul mare este orientat lateral: este util dacă vrei să apuci ramuri, dar mai puţin util dacă vrei să împingi piciorul de pe sol în timpul mersului. Dar Ardi avea laba piciorului rigidă – asemenea maimuţelor şi omului modern.

Dar cât de rigide sunt labele picioarelor de om faţă de cele de antropoide? Pentru a interpreta urmele de picioare preistorice e nevoie să le înţelegem foarte bine forma şi modul de funcţionare la omul actual (şi la alte antropoide). Timp de peste 70 de ani s-a presupus că laba piciorului este foarte rigidă la om şi nu se îndoaie la mijloc, ca la alte primate antropoide. Dar o echipă de oameni de

știință (printre care Robin Crompton, dintotdeauna fascinat de picioare şi de urmele lor) a pus la încercare, nu demult, picioarele umane. Cu ajutorul unei benzi de alergat, au reuşit să colecteze date despre schimbările de presiune de sub tălpile omului în mers şi au descoperit o varietate surprinzătoare. Aşa cum gleznele umane par să aibă funcții mai variate decât am crezut până acum, se pare că am fost prea puțin flexibili şi în privința rigidității labei piciorului. La unii oameni, porțiunea din mijloc a labei este flexibilă, ca la primatele antropoide, şi se poate îndoi la jumătatea tarsului.

O altă echipă de antropologi a colectat date de la 398 de persoane care au mers pe o suprafață sensibilă la presiune şi a descoperit că 8% dintre ei aveau aceeaşi capacitate de a-şi îndoi piciorul la jumătatea tarsului. În plus, era evident că nu era vorba de o trăsătură de tipul „totul sau nimic": participanții la studiu prezentau o flexibilitate variabilă a labei piciorului. Cei cu picioarele mai flexibile aveau de obicei şi platfus sau aveau boltele mai puțin pronunțate.

Echipa lui Robin Crompton a descoperit că există variație şi *la acelaşi* individ: laba piciorului îşi poate schimba flexibilitatea. De fapt, la un procent incredibil de mare dintre subiecții studiului, anume două treimi, s-au găsit dovezi că şi-ar fi îndoit laba la jumătatea tarsului la *ambele* picioare la mai puțin de cinci minute după ce au început să meargă pe banda rulantă. Prin urmare, principalii factori care controlează rigiditatea nu sunt oasele, ci țesturile moi, ca ligamentele, tendoanele şi muşchii. Din nou, concluzia este că trebuie să fim prudenți când facem deducții despre modul de funcționare al picioarelor pe baza oaselor fosile. Trebuie să înțelegem mai întâi variațiile anatomice şi funcționale ale labei piciorului la omul modern. Faptul că aceasta poate avea o rigiditate variabilă este foarte important în sine, întrucât ne permite să mergem pe suprafețe diferite.

Urme mai mult sau mai puțin apăsate ale tălpii în timpul mersului (din Bates et al., 2013).

Cercetătorii au adunat date şi de la cimpanzei bonobo şi de la un urangutan şi au făcut o descoperire tulburătoare. Rezultatele coincideau cu datele referitoare la oameni. La primatele antropoide nonumane se înregistra o presiune ridicată pe marginea exterioară a tălpii, dar acelaşi lucru se observa şi la unii oameni.

Întrucât laba piciorului omului modern prezintă variaţii atât de mari (mai ales dacă îi includem pe cei care nu au crescut purtând pantofi), devine dificil să înţelegem, studiind fosilele, modul în care funcţionau labele picioarelor şi să stabilim cât timp petrecea un hominin pe sol şi cât timp petrecea în copaci. Acum este evident că, deşi arată foarte diferit, labele picioarelor pot fi foarte asemănătoare din punct de vedere funcţional şi că anumite trăsături care par legate atât de evident de o funcţie anume – degetul mare opozabil, de exemplu, pare a avea un rol în reflexul de apucare a ramurilor – nu sunt de fapt uşor de interpretat. De exemplu, gorila vestică este cea mai arboricolă primată antropoidă africană, dar tot ea are laba piciorului cea mai asemănătoare cu a omului.

Funcţionarea labei piciorului este mai variabilă decât credeam, dar asta nu înseamnă că trebuie să renunţăm – este evident că mai avem multe de cercetat. Dacă vrem să înţelegem cu adevărat cum se deplasa o specie fosilă şi cum interacţiona cu mediul, trebuie mai întâi să înţelegem relaţia dintre anatomia speciilor vii şi funcţionalitate, precum şi legătura dintre formă, funcţie şi ecologie.

Trebuie, de asemenea, să nu uităm că e improbabil ca vreo specie vie să semene îndeaproape cu un strămoş preistoric. Anatomia hominiinilor s-a schimbat considerabil în cele cinci-şapte milioane de ani care au trecut de la ultimul strămoş pe care îl avem în comun cu cimpanzeii, la fel cum s-a schimbat şi anatomia genealogiei cimpanzeilor. Rămâne deci întrebarea: cât de mult seamănă cimpanzeul cu acel ultim strămoş comun? De aici decurge o altă întrebare, poate şi mai importantă: care este originea mersului biped al omului?

ORIGINEA MERSULUI BIPED

Cea mai celebră ilustraţie a evoluţiei umane este, probabil, *March of Progress*. Sigur o ştiţi, începe cu un strămoş asemănător cu cimpanzeul în stânga şi continuă cu o serie de creaturi cu o poziţie din

ce în ce mai verticală, până atinge apogeul cu un om perfect modern, în dreapta. Tema a fost parodiată în fel şi chip – căutați pe Google *March of Progress* şi veți găsi imediat exemple. E foarte haios desenul în care omul începe să se cocoşeze din nou, cu o greblă pe umăr, apoi cu un ciocan pneumatic, şi în cele din urmă se apleacă asupra unui computer. În alte variante ale ilustrației, un Dalek[1] evoluează dintr-un aspirator, sau un lanț cu tema „familia Simpson" se termină cu „Homersapien". Cineva a făcut şi a fotografiat chiar şi un lanț al evoluției compus din piese Lego.

Imaginea aceasta emblematică s-a întipărit adânc în cultura noastră şi, aş spune eu, şi în creierul nostru. Dar a ajuns să accentueze şi să perpetueze două idei deloc corecte despre evoluția umană. Mai întâi, a încurajat ideea potrivit căreia evoluția umană este o progresie liniară fără abateri, poate chiar un „marş al progresului" predestinat. Evoluția, inclusiv pe crenguța noastră din arborele vieții, nu este o scară a progresului, ci, ca să-l citățm pe Stephen Jay Gould, „un tufiş teribil de stufos". Ilustrația originală a capitolului „The Road to *Homo Sapiens*" a fost creată de Rudolph Zallinger pentru o carte de popularizare a ştiinței scrisă de antropologul american F. Clark Howell, cu titlul *Early Man*, apărută în 1965. În text, Howell nu descria o traiectorie liniară a evoluției homininilor, iar ilustrațiile (reconstituiri ale speciilor fosile de primate antropoide şi de hominini cunoscute pe atunci) sunt aşezate pur şi simplu într-o ordine cronologică aproximativă. Este evident că nu au fost făcute cu intenția de a sugera evoluția liniară a speciilor, dar aceasta este puterea imaginilor – dacă privim ilustrația în treacăt, asta *sugerează*.

Imaginea sugerează şi altceva care riscă să ne deruteze, anume că homininii bipezi au evoluat dintr-un strămoş asemănător cu cimpanzeul, care mergea sprijinindu-se în pumni. E oarecum nedrept față de imaginea originală, care include desene cu cincisprezece specii, dintre care primele două, *Pliopithecus* şi *Proconsul*, sunt reprezentate mergând în poziție verticală. Ilustrația completă continuă pe verso, cu o pagină împăturită care începe cu un *Dryopithecus* patruped (primată antropoidă din miocen care trăia în Europa şi Asia). Multe dintre numeroasele reinterpretări ale imaginii o reduc la cinci-şase specii şi încep cu *Dryopithecus*, care se sprijinea în pumni când mergea şi

1. Cyborgi din serialul science-fiction britanic *Dr. Who* (n. tr.).

semăna foarte mult cu cimpanzeul modern. Imaginea mai pune o problemă: ne-a cristalizat în creier ideea că oamenii bipezi, ca noi, au evoluat dintr-un strămoş care semăna cu cimpanzeul şi se sprijinea în mâini atunci când mergea. S-a descoperit în ultimii ani că oamenii şi cimpanzeii au în comun foarte mult material genetic (depinde ce sistem de măsură folosim, dar uneori se citează cifra de 99%), ceea ce nu a făcut decât să încurajeze ideea că avem un strămoş asemănător cu cimpanzeul. Nu este însă decât o presupunere fără conținut.

Mersul biped este o caracteristică esențială a omului, dar trebuie să menționăm că este vorba de mersul biped practicat *în mod curent*, fiindcă toate primatele antropoide din ziua de azi se pot deplasa pe două picioare, numai că nu obişnuiesc s-o facă la fel de des ca noi. Pentru mine sau pentru tine, mersul (sau alergatul) pe două picioare este „modul de locomoție“ firesc. Bebeluşii preferă mersul patruped; copiii şi unii adulți mai aventuroşi au o predilecție pentru cățărat şi atârnat. (Ceea ce nu înseamnă că noi, oamenii, nu suntem buni la cățărat, pentru că suntem, după cum vom vedea mai în amănunt peste câteva pagini.)

Originea mersului biped (practicat în mod obişnuit) la oameni a făcut subiectul unor dezbateri aprinse. În 1863, la patru ani după apariția *Originii speciilor* a lui Darwin, Thomas Henry Huxley, poreclit „buldogul lui Darwin“, şi-a publicat propria viziune asupra evoluției în *Evidence as to Man's Place in Nature* (*Dovezi despre locul omului în natură*). Pe frontispiciu apărea un şir de schelete: de gibon, urangutan, cimpanzeu, gorilă şi om, toate în poziție verticală. Părea evident că oamenii evoluaseră din primate antropoide care deja îşi țineau trunchiul drept atunci când atârnau de brațe (brahial) în copaci. Perspectiva aceasta a rămas dominantă şi la începutul secolului XX: anume că, la un moment dat, strămoşii noştri arboricoli au coborât din copaci şi au continuat să se deplaseze cu coloana în poziție verticală, de data aceasta mergând însă pe două picioare. Sir Arthur Keith, anatomist scoțian, conservator la Hunterian Museum al Royal College of Surgeons din Londra, a inclus această idee în teoria lui, numită „teoria hilobatidelor“, în 1923. Hilobatidele sunt gibonii, care au perfecționat arta de a atârna din copaci (e un spectacol formidabil, dacă ai vreodată ocazia să-l vezi), dar când coboară pe sol merg pe două picioare.

Însă ideile despre originea mersului biped la om s-au schimbat în partea a doua a secolului XX. Gibonii au fost daţi uitării când noua ştiinţă a geneticii a dezvăluit că oamenii se înrudeau mai îndeaproape cu primatele antropoide africane: cimpanzeii şi gorilele. Ambele tind să se deplaseze pe sol în patru labe, sprijinindu-se pe tălpi şi în pumni. Pare deci foarte rezonabilă presupunerea (şi ar fi calea evolutivă cea mai simplă şi mai parcimonioasă pentru toţi cei implicaţi) că oamenii, cimpanzeii şi gorilele au evoluat cu toţii dintr-un strămoş comun care se sprijinea în pumni atunci când mergea. Cercetătorii chiar au identificat trăsături osoase la palmele şi încheieturile mâinilor primatelor antropoide şi ale oamenilor moderni care par a fi adaptări la stilul acesta de mers. (Ideea ar fi că noi am păstrat trăsăturile acestea, fiindcă am avut un strămoş care se deplasa astfel, deşi acum nu mai practicăm acest stil de mers.)

E indicat să fim prudenţi când facem legături între anumite trăsături ale oaselor şi anumite funcţii specifice fără să avem dovezi extrem de solide. De fapt, e bine să fim prudenţi în multe domenii ale ştiinţei. Formulăm ipoteze pe baza a ceea ce ştim deja, dar o ipoteză bună este cea care rămâne în picioare după ce a fost verificată. Pe măsură ce adunăm mai multe date, este de aşteptat ca unele ipoteze să nu reziste la proba timpului, obligându-ne să găsim explicaţii noi pentru tiparele pe care le observăm. Asta nu înseamnă că teoriile ştiinţifice nu sunt de încredere (în fond, sunt acelaşi lucru cu „datele“ ştiinţifice), ci că trebuie să fim deschişi la minte şi să acceptăm că e posibil ca unele explicaţii să se schimbe. Ar putea rezulta de aici că edificiul ştiinţei este destul de şubred, dar nu e deloc aşa. Există unele teorii care au atât de puţine şanse să fie infirmate, încât ne putem baza pe ele. Printre acestea, faptul că Pământul chiar este rotund, nu plat, şi că evoluţia s-a petrecut într-adevăr. Când vine însă vorba de modul în care se deplasau strămoşii noştri înainte să înceapă să meargă în mod obişnuit pe sol în două picioare, există mai mult loc de discuţii, iar în prezent apar argumente importante care contrazic presupunerea că strămoşul nostru se sprijinea în pumni atunci când mergea.

În primul rând, ideea existenţei unui astfel de strămoş al cimpanzeilor, gorilelor şi omului nu funcţionează decât dacă plecăm de la premisa că acest tip de mers ar fi fost identic sau omolog la cimpanzei şi la gorile. Câteva studii făcute în ultimii cincisprezece ani au

pus la îndoială ipoteza aceasta, arătând că stilul de mers prezintă diferențe subtile la cimpanzei şi la gorile şi că articulațiile mâinilor li se dezvoltă în mod diferit. Au fost puse sub semnul întrebării şi unele dintre trăsăturile osoase despre care se credea că au legătură cu mersul sprijinit în mâini, dar care, de fapt, au rolul de a stabiliza articulația încheieturii; e posibil însă ca aceste trăsături să fi evoluat pentru a ajuta la cățăratul vertical şi să fi fost din întâmplare utile şi la mers.

Anatomia lui Ardi (*Ardipithecus ramidus*, descoperit la începutul anilor 1990) face şi mai puțin probabilă o ipoteză potrivit căreia oamenii ar fi avut un strămoş care mergea sprijinindu-se pe membrele superioare. Ardi este un hominin foarte vechi: la vârsta lui, de 4,4 milioane de ani, se apropie destul de mult de vremea când a trăit ultimul strămoş pe care-l avem în comun cu cimpanzeii, aşa cum reiese din comparațiile genetice conform cărora ne-am fi separat acum cinci-şapte milioane de ani. S-au păstrat multe oase fosilizate de la această specie, iar ele ne spun că Ardi nu semăna prea mult cu un cimpanzeu. Dimpotrivă, arăta mai degrabă ca o maimuță mare, amintind de primele fosile de primate antropoide, inclusiv de specii ca *Proconsul*. Am văzut deja că Ardi avea laba piciorului rigidă – dar degetul mare de la picior opozabil. Combinația aceasta de caracteristici reflectă tendința mai generală a scheletului: Ardi îmbină unele adaptări ce par să țină de o existență arboricolă cu caracteristici care sugerează că mergea destul de des şi pe sol, pe două picioare.

Ardi nu are însă trăsături care să sugereze că se ajuta de pumni atunci când mergea sau că îşi petrecea mult timp atârnând de brațe. Nu avea încheietura mâinii rigidă ca antropoidele nonumane din ziua de azi, ci foarte flexibilă: putea îndoi mâna mult în spate. Deşi este un animal mare, proporțiile membrelor lui Ardi sunt similare cu cele ale macacilor moderni; s-a sugerat că s-ar fi deplasat prin copaci asemenea macacilor, în patru labe, folosindu-se de tălpi şi de palme. Dar Robin Crompton şi colegii lui au observat că Ardi, cu o greutate de aproximativ 50 kg, e foarte mare în comparație cu macacii – chiar de peste cinci ori mai mare. Întrucât cântărea foarte mult şi avea labele picioarelor rigide (şi, de vreme ce era primată antropoidă, în lipsa cozii), i-ar fi fost greu să-şi mențină echilibrul pe ramuri în patru labe. Cercetătorii sunt de părere că Ardi făcea ceea ce fac toate

primatele antropoide: mergea prin copaci; de aici până la mersul biped nu a mai fost decât un pas.

Astfel, lucrurile capătă sens – în două picioare, Ardi şi-ar fi putut menține echilibrul, apucând ramurile de deasupra sau din jur, sau le-ar fi putut da la o parte, dacă îi stăteau în cale. În acest mod, o primată antropoidă destul de solidă se putea deplasa cu destulă siguranță prin coroanele înalte. De fapt, primatele mari folosesc şi azi metoda aceasta de deplasare: merg în două picioare pe ramuri orizontale, ținându-şi echilibrul cu ajutorul mâinilor. Dintre toate antropoidele mari, urangutanul petrece cel mai mult timp în copaci – şi este şi cel mai biped. Când merg în două picioare, urangutanii țin de obicei şoldurile şi genunchii mai drepți decât cimpanzeii şi gorilele, care au pasul mai flexat şi mai ineficient, cu şoldurile şi genunchii îndoiți.

Este interesant să observăm *când* anume recurg urangutanii la mersul prin copaci. Deşi sunt bipezi mai puțin de 10% din timpul petrecut în copaci, poziția aceasta este importantă pentru ei. Ridicându-se în două picioare pe ramuri, ajung până la marginile coroanei, unde pot culege fructe şi de unde pot trece în copacul următor mult mai uşor şi mai eficient decât dacă ar coborî dintr-un copac şi ar urca în altul. Pe lângă faptul că se deplasează orizontal de-a lungul crengilor, urangutanii se cațără şi vertical pe ramuri. Nouă ni se pare probabil mai firesc să ne cățărăm astfel decât să ne urcăm pe trunchiul copacului, precum cimpanzeii şi gorilele (deşi, după cum am văzut, e o practică curentă la vânătorii-culegători doritori de miere).

Din punctul meu de vedere, mersul şi cățăratul prin copaci fac mersul biped al omului să pară mult mai firesc. Nu este vorba de un mod de locomoție complet nou, ci de ceva care exista deja – şi care a apărut probabil de mult în evoluția primatelor antropoide. E adevărat că există discuții aprinse despre *când* şi *cum* a apărut mersul biped, dar întrebarea cea mai arzătoare, care ne dă bătăi de cap de mai bine de un secol, este *de ce* a apărut acest mod de deplasare. Darwin a avansat ideea că, având membrele superioare libere, hominiii le puteau folosi pentru a se apăra, în timp ce alții au sugerat că aşa îşi puteau purta nou-născuții neajutorați sau hrana. Sau că în acest fel se puteau uita peste iarba înaltă din savană pentru a observa prădătorii. Sau că, în savana fierbinte, în poziție verticală, soarele arzător ajungea la mai puțin din suprafața corpului. Alții susțin că

mersul biped ar fi o manifestare a agresivității sau că ar fi apărut într-o etapă acvatică, în care strămoşii noştri petreceau mult timp în apele puțin adânci. Sau că e pur şi simplu mai eficient să te deplasezi pe două picioare decât pe patru. Sau că astfel masculii puteau impresiona femelele cu organele lor genitale. Sau că a fost pur şi simplu o găselniță care a prins. Sau o combinație a tuturor celor de mai sus.

Multe dintre sugestiile acestea sunt discutabile. Cel mai probabil nou-născuții homininilor timpurii n-au fost neajutorați, fiindcă creierul a început să se mărească cu mult după apariția mersului biped. Cimpanzeii îşi cară hrana fără probleme deplasându-se pe două picioare şi o mână. Teoria potrivit căreia mersul biped ar fi fost o adaptare la habitatul de savană nu se susține, fiindcă acum ştim, din reconstituirea mediilor preistorice, că întinderile cu iarbă s-au extins în mod semnificativ acum circa trei milioane de ani, cu mult după ce homininii au început să meargă pe două picioare în mod obişnuit. Ipoteza primatei antropoide acvatice, surprinzător de longevivă, are prea multe hibe ca să le discutăm aici, dar este suficient să spunem că nu există nici o dovadă că ar fi existat o fază semiacvatică în evoluția homininilor. Ideea de bază este următoarea: dacă mersul biped terestru nu este ceva extraordinar pentru o antropoidă, ci, din contră, este foarte normal, nu e nevoie de un motiv extraordinar care să-l explice. Dacă ne gândim că mersul biped terestru a apărut dintr-odată la primatele antropoide care se deplasau sprijinindu-se în pumni, trebuie totuşi să explicăm de ce s-a trecut „brusc“ de la un mod de locomoție la celălalt. Dar dacă vedem mersul biped ca pe o continuare a unei metode de deplasare care *exista deja* la un strămoş, trecerea se face mult mai lin. Pentru antropoidele care au trecut la habitaturi mai deschise decât pădurea deasă, era o mişcare firească, înlesnită de faptul că erau deja bipede în copaci.

De fapt, mersul prin copaci pare să fi fost important pentru mai multe specii preistorice de primate, printre care *Pierolapithecus*, *Hispanopithecus* şi *Morotopithecus*, care au trăit în miocen (acum 5,3–23 de milioane de ani). Se pare că cel puțin o primată din miocen mergea pe pământ destul de mult, încât obiceiul acesta să-i modeleze anatomia. *Oreopithecus bambolii* este o antropoidă primitivă care a trăit acum şapte-nouă milioane de ani în Toscana şi Sardinia de azi. *Oreopithecus* are unele trăsături familiare: unghiul bicondilar

al genunchiului şi şoldurile şi genunchii adaptați, din câte se pare, la poziția extinsă: pare a fi o primată antropoidă care mergea pe sol. Ardi, care a trăit cu vreo cinci milioane de ani mai târziu se deplasa poate în mod asemănător, combinând mersul prin copaci cu mersul pe jos.

După ce am criticat imaginea strămoşului care mergea sprijinindu-se în mâini, promovată cu atâta succes de versiunea prescurtată a ilustrației *March of Progress* a lui Zallinger, sper că am reuşit să-ți scot din minte ideea persistentă conform căreia primatele antropoide au mers la început folosindu-se de cele patru membre, iar apoi s-au ridicat şi au început să meargă pe două picioare. Avem acum dovezi foarte solide că strămoşii noştri hominini nu au folosit niciodată modul acesta de deplasare, ci că mergeau biped prin copaci, iar apoi şi-au adaptat mersul la sol. Constatăm astfel că mersul biped, chiar şi mersul biped terestru, îşi are originea mai departe în trecut, înainte să intre în scenă primii hominini, în vremea primatelor antropoide din miocen – strămoşii urangutanilor, ai cimpanzeilor şi gorilelor şi ai noştri.

Dacă privim lucrurile astfel, noi, oamenii, nu mai suntem aşa speciali; din contră, în acest caz, cimpanzeii şi gorilele au adus ceva nou, atunci când strămoşii lor au început să-şi folosească membrele anterioare ca să se deplaseze. De fapt, se prea poate ca aceasta să nu fi fost singura inovație pe care au creat-o în paralel. Dintr-o analiză a membrelor anterioare (şi chiar a celor posterioare) ale primatelor antropoide actuale şi fosile, pare mai probabil ca multe adaptări la cățărat şi la atârnatul de crengi, inclusiv întărirea articulației încheieturii, să fi evoluat în mai multe rânduri în paralel. Aşadar, fireşte, şi cățăratul şi atârnatul de crengi au evoluat de mai multe ori. Lucrurile pot să se complice inutil (n-ar fi mai simplu şi mai economic dacă trăsăturile şi comportamentul acesta ar fi apărut doar o dată?), dar dovezile fosile nu arată o evoluție liniară, ci formează mai degrabă un mozaic. Ideea are mai mult sens dacă ne gândim că atât cățăratul, cât şi atârnatul de crengi sunt metode de deplasare care au sens când ai o anumită greutate. (Ții minte argumentul legat de poziția patrupedă a lui Ardi în copaci? E greu să ții în echilibru un corp mare în poziție patrupedă, dar e mult mai uşor să stai în picioare sau să te cațări în poziție verticală, sprijinindu-te cu mâinile, sau, cum fac unele primate antropoide, atârnând de crengi.)

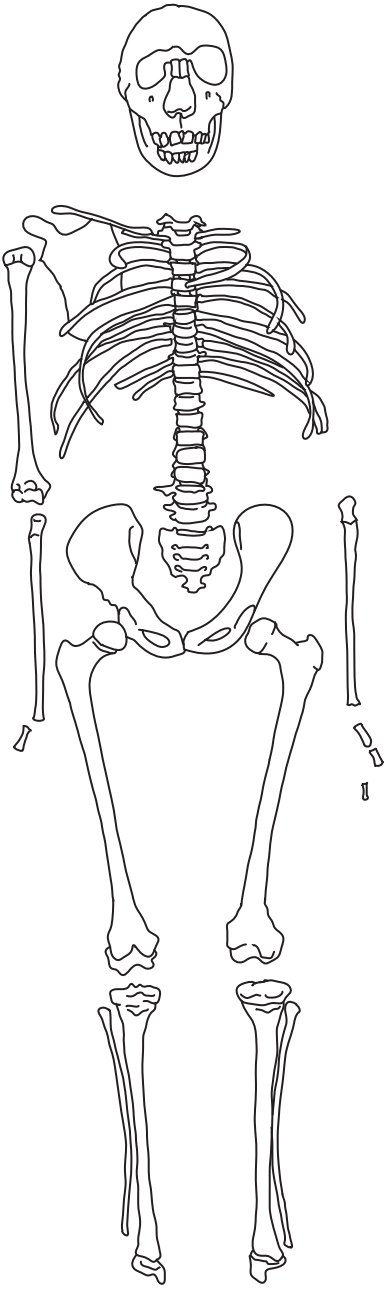
Se pare aşadar că printre antropoidele acestea inovatoare şi inventive, cei conservatori suntem noi, oamenii, care nu facem altceva decât ce au făcut ele dintotdeauna: mergem pe două picioare.

NĂSCUȚI CA SĂ FUGIM

Strămoşii noştri au adoptat mersul biped cu mai mult timp în urmă decât credeam noi iniţial, dacă luăm în calcul şi mersul prin copaci, pe lângă cel de pe sol. Dar când au început să semene cu noi în privinţa constituţiei, a proporţiilor membrelor? Ardi şi chiar şi australopitecii seamănă mult cu alte primate antropoide, cu braţe lungi şi picioare scurte. (Până în 2005, Lucy era singurul schelet de *Australopithecus afarensis* cu fragmente de braţe şi de picioare. Apoi, o echipă etiopiană a descoperit alt schelet parţial în regiunea Afar, a cărui vechime a fost stabilită la 3,6 milioane de ani şi care a fost botezat Kadanuumuu (Omul Mare); era mult mai mare, probabil de sex masculin. Deşi era înalt, avea picioarele scurte în comparaţie cu oamenii moderni.) Picioarele lungi, caracteristici marcante ale omului din ziua de azi, au apărut relativ târziu în evoluţie.

Primele rămăşiţe care aparţineau unui corp cu formă *umană*, care avea şi picioare lungi, au ieşit la lumină în 1984. Pe când făcea parte din conducerea echipei lui Richard Leakey, Kamoya Kimeu a descoperit rămăşiţele unui schelet fosilizat pe lângă malurile nisipoase ale râului Nariokotome, la aproape cinci kilometri vest de lacul Turkana. Era scheletul unui băiat – oasele nu i se dezvoltaseră complet – care a căpătat numele de „Băiatul de la Nariokotome“. A trăit în estul Africii acum 1,5 milioane de ani şi aparţine unei specii numite *Homo erectus*. Unii specialişti îi plasează pe *Homo erectus* timpurii, africani (printre care şi băiatul nostru), într-o specie separată, *Homo ergaster*. Această ipoteză a pierdut însă teren, cu atât mai mult cu cât fosilele de *Homo erectus* dintr-un singur sit, Dmanisi, din Republica Georgia, au arătat că specia aceasta cuprindea o gamă largă de variaţii.

Scheletul Băiatului de Nariokotome nu prezintă semne evidente ale cauzei morţii, deşi se crede că ar fi murit din cauza unui abces la o măsea, ceea ce e foarte posibil, dată fiind lipsa antibioticelor, dar nu şi cert. Indiferent de cauza morţii, pesemne că trupul i-a fost



Băiatul de la Nariokotome

acoperit cu sedimente destul de repede, de vreme ce a scăpat de dinții animalelor hoitare şi s-a conservat atât de bine.

Vârsta la care a murit Băiatul de la Nariokotome a făcut subiectul unor discuții serioase de-a lungul anilor. Pe baza oaselor, care prezintă semne de plăci de creştere nefuzionate, aş spune că era adolescent. Dacă ar fi un om din ziua de azi, ar trebui să aibă undeva între zece şi cincisprezece ani. Dar dinții spun altceva. Nepotrivirea dintre vârsta indicată de oase şi cea indicată de dinți ne sugerează că acest băiat nu s-a dezvoltat la fel ca mine sau ca tine. Nu s-a dezvoltat nici ca cimpanzeii. În orice caz, potrivit celei mai juste şi mai recente estimări a vârstei Băiatului de la Nariokotome, acesta ar fi fost foarte tânăr – ar fi avut doar vreo opt ani. Era însă mult mai matur decât un copil modern de opt ani. Avea cam 154 cm înălțime, iar dacă ar fi ajuns la maturitate, ar fi fost cu aproape 8 cm mai înalt. Estimările anterioare sugeraseră că ar fi putut ajunge la 1,80 m, dar, într-un fel, noua estimare e mai plauzibilă şi arată că saltul în înălțime între *Homo habilis*, specie mai veche (care nu era cu mult mai înaltă decât australopitecii), şi *Homo erectus* a fost mai puțin brusc.

Băiatul de la Nariokotome este, totuşi, înalt în comparație cu homininii mai timpurii şi are *picioarele lungi*. Cele două trăsături sunt legate între ele. Pare evident, dar la oamenii moderni, ca şi la homininii preistorici, există o corelație între înălțime şi lungimea picioarelor: persoanele mai înalte au întotdeauna picioarele mai lungi. În ceea ce priveşte originea genului nostru, *Homo*, e foarte posibil ca selecția naturală să fi acționat asupra masei corporale, iar picioarele relativ lungi să fi fost o consecință a acestui fapt. Cred că, dacă l-ai vedea pe Băiatul de la Nariokotome mergând în depărtare, nu ți s-ar părea nimic ciudat. Nu i-ai observa capul mai mic şi fața neobişnuită – silueta lui ți s-ar părea însă foarte familiară.

Picioarele lungi ne arată că Băiatul de la Nariokotome avea un mers eficient, dar antropologul Dan Lieberman susține că scheletul lui prezintă multe trăsături care nu se pot explica doar ca adaptări la mers. De exemplu, avea un ligament puternic la ceafă; avea talia lungă şi îngustă şi umerii lăsați; muşchiul fesier *gluteus maximus* era bine dezvoltat, la fel ca muşchii *erector spinae* ai spatelui, iar ambele categorii de muşchi contribuind la stabilizarea trunchiului; avea țesuturi care acționau ca nişte arcuri în picior şi în laba piciorului (inclusiv

un tendon al lui Ahile masiv), pentru a înmagazina şi a elibera energie; avea, de asemenea, degetele de la picioare scurte. Dan explică toate aceste trăsături ca având legătură cu ceva foarte precis, ceva pentru care ai nevoie de tendoane şi ligamente elastice, pentru care ai nevoie ca umerii şi trunchiul să se poată roti deasupra bazinului ca să-ți menții echilibrul, pentru care ai nevoie de muşchi puternici în spatele şoldului ca să întindă articulația şi să împiedice trunchiul să se aplece înainte: alergarea. Picioarele lungi sunt şi ele „făcute pentru alergat", întrucât lungimea mai mare a pasului sporeşte viteza pe distanțe mai lungi.

M-am întâlnit cu Dan Lieberman în laboratorul lui de la Harvard University. M-a urcat chiar şi pe mine pe banda rulantă ca să-mi demonstreze cât de important este *gluteus maximus* atunci când alergăm. În timpul mersului, *gluteus maximus* nu face mare lucru, nici măcar pe o suprafață uşor înclinată, dar în timpul alergării este foarte activ, fiindcă se contractă ca să contracareze flexiunea trunchiului pe partea de sprijin (ca să te împiedice să cazi în nas) şi contribuie la decelerarea piciorului care face pasul următor, când acesta ajunge la capătul balansului înainte. E greu de spus când anume s-a mărit acest muşchi, dar Dan afirmă că a avut probabil un rol important în felul în care a evoluat alergatul la hominini.

Teoria lui Dan, care a ajuns pe prima pagină a publicației *Nature* în 2004, este că alergările lungi aveau o importanță fundamentală pentru strămoşii noştri. Ne-am concentrat foarte mult pe mersul biped ca mod de deplasare arhetipal al omului, dar se pare că alergatul ar fi fost la fel de important – cel puțin când şi-a făcut apariția în peisaj *Homo erectus*. Au mai contat probabil şi alte lucruri în afară de mers şi de alergat. Atunci când se urcau pe dealuri sau se cățărau pe diverse suprafețe accidentate, homininii foloseau, probabil, elemente anatomice pe care Dan le-a pus în legătură cu alergatul de rezistență. Pe de altă parte însă, alergatul le-ar fi oferit strămoşilor noştri o cale de supraviețuire într-un peisaj în schimbare, determinând poate o schimbare a liniilor generale ale corpului şi ducând la alcătuirea generală pe care o recunoaştem în ziua de azi drept umană.

Cei mai mulți dintre noi ducem astăzi o viață destul de sedentară, aşa că poate părea surprinzător că suntem alergători înnăscuți. Dar oricine a practicat alergarea de cursă lungă nu se va mira prea tare.

De fapt, e o activitate la care ne pricepem foarte bine. Corpul nostru e proiectat să alergăm uşor şi eficient şi, deşi ne-ar fi greu să întrecem alte animale la sprint, pe distanțe lungi oamenii depăşesc chiar şi câinii şi caii.

Specia Băiatului de la Nariokotome a evoluat într-o vreme în care pajiştile câştigau tot mai mult teren – savana atât de răspândită în Africa din ziua de azi – şi, în consecință, se înmulțeau şi se diversificau animalele erbivore. Pădurile se împuținau, iar savana oferea noi posibilități homininilor care se puteau adapta mediului. Ca să profiți la maximum de asemenea împrejurimi, trebuie să te deplasezi repede pe distanțe lungi; alergatul le-ar fi dat strămoşilor noştri şi posibilitatea de a concura eficient pentru o sursă importantă de energie şi proteine: carnea. E greu de spus dacă era vorba de vânătoare sau de consumul de cadavre (sau mai degrabă de amândouă), dar uneltele de piatră făurite de *Homo erectus* acum aproape două milioane de ani sunt ideale pentru a prelucra carnea. Tăieturile (făcute cu unelte de piatră) de pe oasele de animale care au fost găsite în mai multe situri arheologice vechi din Africa arată că se practica măcelăria. Într-un sit recent descoperit pe malul lacului Victoria din Kenya s-au găsit o mulțime de oase de gazelă tăiate, pe care cercetătorii le-au interpretat drept dovezi solide că se practica şi vânătoarea, nu doar consumul cărnii de pe leşuri.

O ALTFEL DE NOUTATE

S-a sugerat că adaptarea omului la alergare ar ilustra o idee foarte nouă şi îndrăzneață în evoluție, potrivit căreia în organism se pot produce schimbări considerabile *înainte* să aibă loc modificările genetice.

De-a lungul vieții, corpul se schimbă. Ştim acest lucru şi din experiența proprie: dacă începi să mergi la sală, vei arăta altfel. Vei băga de seamă că anumiți mușchi se vor mări, dar probabil nu vei observa că ți se vor schimba şi oasele. Avem tendința să vedem scheletul ca pe un eşafodaj inert, fără viață, dar şi oasele sunt tot țesut viu. Deşi puternic mineralizate, în orificiile din matricea dură de os trăiesc celule care comunică unele cu altele şi cu celulele de la suprafața osului. Acestea reacționează la presiunea exercitată asupra osului,

construind mai multă masă osoasă atunci când presiunea e mai puternică şi eliminând-o atunci când sarcina dispare. (Una dintre numeroasele dificultăți ale astronauților care petrec mai mult timp într-un mediu fără gravitație este că pierd masă osoasă.)

Ca embrion, în copilărie şi chiar şi la maturitate, forma şi funcționarea corpului tău nu sunt determinate exclusiv de ADN. Cu alte cuvinte, forma scheletului şi a întregului tău corp nu sunt doar rezultatul genelor, ci şi al felului cum îți *foloseşti* corpul: sunt produsul comportamentului tău. Genele doar stabilesc parametrii în care se poate schimba forma corpului.

Schimbările foarte profunde în anatomia pe care am considera-o „normală“ pentru o anume parte a corpului sunt declanşate de modificări în anatomia şi fiziologia altei zone a organismului. În 1942, un veterinar olandez pe nume E.J. Slijper a descris cazul ciudat al unei capre bipede. Animalul se născuse cu picioarele din față paralizate, deci nu putea merge normal. Dar reuşea să se deplaseze destul de bine țopăind pe picioarele din spate. Când a murit, Slijper a disecat-o şi a descoperit că avea o anatomie foarte ciudată: toracele şi sternul aveau o formă stranie, iar muşchii din partea de sus a picioarelor din spate îşi schimbaseră forma şi dezvoltaseră tendoane noi. Astfel de exemple arată cât de maleabilă poate fi anatomia.

Capra săltăreață a lui Slijper ilustrează o idee importantă: schimbarea anatomiei picioarelor din spate nu are aceeaşi cauză ca defectul de la picioarele din față ale caprei. Noutățile anatomice au apărut ca urmare a felului în care îşi *folosea* picioarele din spate. Anatomia va fi mai puțin flexibilă la maturitate – nu vei ajunge la rezultate atât de spectaculoase mergând la sală –, dar potențialul pentru schimbări considerabile este mai mare dacă ajustarea comportamentală se produce într-un stadiu de dezvoltare mai timpuriu.

Biologul american Mary Jane West-Eberhard susține că aşa ar fi apărut în evoluția omului schimbările anatomice legate de alergare – ca parte din adaptarea organismului la mediu (prin schimbări de comportament) de-a lungul întregii vieți – şi că ar fi devenit chiar „standard“ la o întreagă populație în cursul unei singure generații. Este o idee foarte importantă şi, în unele privințe, de-a dreptul eretică. Este, în orice caz, o provocare adusă concepției strict neodarwiniste asupra evoluției, potrivit căreia materia primă pentru variații este

asigurată de mutațiile genetice întâmplătoare, după care selecția naturală încurajează mutațiile avantajoase. Schimbările anatomice care survin ca reacție la un comportament nou (aşa-numita „adaptare fenotipică“) pot produce şi ele variații.

Ideea îndrăzneață a existenței unor legături între comportament, anatomie şi evoluție continuă o ipoteză mai veche despre cum se produce schimbarea în evoluție. Naturalistul francez pre-darwinist Jean-Baptiste Lamarck sugera ceva asemănător la începutul secolului al XIX-lea. El credea că animalele pot transmite caracteristicile pe care le-au căpătat în timpul vieții. Exemplul clasic este cel cu girafa: aceasta se întinde tot mai mult ca să ajungă la frunze, şi gâtul i se lungeşte puțin câte puțin, caracteristică ce este transmisă apoi urmaşilor. Deşi Darwin era deschis față de această teorie, cunoscută sub numele de „moştenirea uşoară“, ea a fost eclipsată de mecanismul selecției naturale pe care tot Darwin l-a propus în *Despre originea speciilor prin selecție naturală* (ca să-i dăm numele complet). Selecția naturală acționa asupra variațiilor *preexistente* în cadrul populațiilor. Variația se explica prin factori moşteniți (identificați mai târziu drept mutații genetice), aşa că schimbările anatomice survenite în cursul vieții individului nu se puteau transmite mai departe.

În prezent însă, ideea aceasta pare rigidă. Acum ştim că influența mediului asupra genelor se poate transmite urmaşilor. Modificările chimice survenite în alcătuirea genelor (care apar în cursul vieții animalului ca reacție la stimulii din mediu) schimbă modul în care acestea funcționează. În mod surprinzător, modificările *se pot* moşteni, deşi genele în sine rămân neschimbate. Domeniul acesta de studiu se numeşte epigenetică şi arată că moştenirea „uşoară“ are în ea un dram de adevăr.

Când comportamentele noi produc schimbări anatomice, e posibil ca unele dintre aceste schimbări să le fie transmise urmaşilor, cel puțin timp de câteva generații, ca urmare a modificărilor epigenetice, care se moştenesc într-adevăr pe parcursul a cel puțin două-trei generații. Dar adaptarea fenotipică poate duce şi la modificări genetice evolutive propriu-zise. Spre deosebire de mutațiile genetice care duc la variații destul de aleatorii (majoritatea, în mod inevitabil, inutile), adaptarea fenotipică produce variații care sunt departe de a fi întâmplătoare: încă de la început, ele ajută organismul să se adapteze la

mediu. Selecția naturală va acționa asupra acestor variații nealeatorii, ca şi asupra celor întâmplătoare, produse de mutații.

Indivizii cu trăsături anatomice noi, apărute ca urmare a schimbărilor de comportament, au prima şansă în supraviețuire şi reproducere, aşadar *potențialul* de a crea schimbările respective este favorizat prin selecție. Ideea a fost propusă pentru prima oară de psihologul american James Mark Baldwin, la sfârşitul secolului al XIX-lea, în legătură cu evoluția capacității de învățare, şi poartă numele de „efectul Baldwin".

Revenind la strămoşii noştri, ne putem da seama cum au făcut tranziția spre alergat. Să ne închipuim un grup de oameni preistorici ai căror strămoşi nu erau mari amatori de alergat, dar care descoperă că fuga îi ajută să supraviețuiască. Trăiesc în savana africană, acum aproape două milioane de ani. Consumă o hrană mai variată decât strămoşii lor. Sapă după rădăcini şi tuberculi, pe care îi gătesc ca să fie mai gustoşi. Mănâncă şi carne când au ocazia – şi aici intervine alergatul. Uneori vânează animale, dar probabil că cel mai adesea îşi iau carnea de pe leşurile lăsate în urmă de alți prădători. Ştiu să vadă zborul în cerc al vulturilor în zare şi dau fuga să ajungă la cadavru înainte să-l găsească alți hoitari. Caută să evite confruntările cu prădători mari şi îi lovesc cu pietre atunci când îşi fac apariția.

În scenariul acesta, fuga poate deveni foarte importantă pentru un grup de oameni pe durata unei singure generații. La început o practică doar câțiva indivizi, după care li se vor alătura şi alții. Copiii vor lua exemplul adulților. Fără să intervină vreo schimbare genetică, organismul li s-ar schimba considerabil, întrucât oasele şi muşchii ar reacționa la noile solicitări. Vor ajunge astfel să arate foarte diferit de strămoşii lor imediați, în special cei care încep să alerge în copilărie. Unii dintre ei pot fi mai puțin „flexibili" şi vor alerga mai greu, dar alții, ale căror gene au potențialul latent de a produce schimbări importante, vor face alergatul mai confortabil şi mai eficient. Odată ce au început să alerge, aşadar, oamenii aceştia au schimbat felul în care a evoluat specia. Potențialul genetic pentru alergat va fi favorizat de selecție. De-a lungul generațiilor, mulțumită efectului Baldwin, selecția naturală va avantaja mutațiile genetice care se întâmplă să sporească performanța în alergare. Dar de unde au pornit toate acestea? Nu de la o mutație genetică propagată prin selecție naturală, ci de la o schimbare de *comportament*.

Este posibil chiar ca adaptarea fenotipică să aibă mai mari şanse de a produce sau cel puțin de a instiga schimbări profunde la urmaşi decât mecanismul mai familiar al selecției naturale, care favorizează mutațiile genetice. Adaptarea fenotipică ar putea fi o sursă importantă de noutăți în cadrul evoluției. Noutățile sunt cu totul altceva decât schimbările adaptive la scară redusă care apar ca urmare a promovării prin selecție naturală a anumitor variante şi a eliminării altora. Ca generator de noutate, reacția imediată a animalului la schimbările de mediu este un fenomen puternic – care poate afecta mulți indivizi în acelaşi timp.

Nu se poate spune, desigur, că Darwin s-a înşelat şi că selecția naturală nu este importantă. Darwin avea dreptate, selecția naturală este importantă, numai că problema e mai complexă şi se poate ca Lamarck să fi descoperit ceva important.

E posibil ca strămoşii noştri să fi început pur şi simplu să alerge, fără să fi aşteptat ajutorul mutațiilor genetice – care au venit, probabil, mai târziu. Dar, oricât de bine se vor fi adaptat strămoşii noştri la alergările de cursă lungă, tot nu erau la fel de rapizi ca alți alergători, printre care unii prădători africani de dimensiuni mari. Le-a fost util aşadar să păstreze unele trăsături mai „primitive“, inclusiv picioarele adaptate fugii, cu care însă se puteau cățăra într-un copac la nevoie (imaginează-ți o gazelă Thomson încercând să urce în copac!). Avem, de asemenea, brațe lungi şi mobile, moştenite de la strămoşi care îşi petreceau mult timp în arbori, dar care s-au dovedit deosebit de utile la aruncat lucruri – aptitudine care le-a fost de folos strămoşilor noştri în savana africană şi pe care am moştenit-o şi noi.

UMERI ŞI DEGETE MARI

STRĂMOŞII CĂȚĂRĂTORI ŞI UNICITATEA MÂINII UMANE

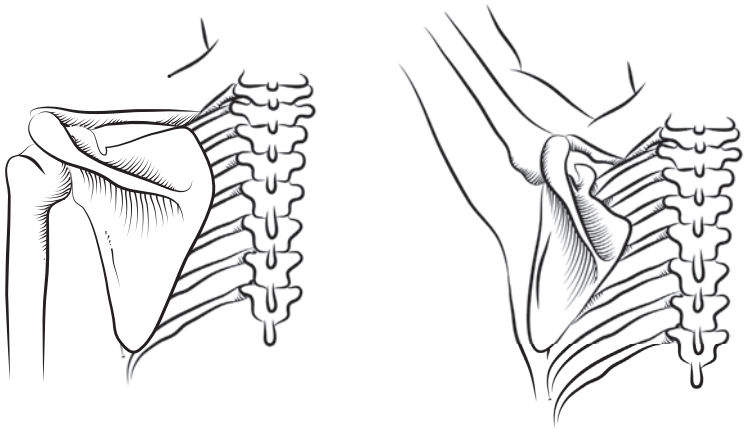
„Poate că nimic nu are atâta însemnătate ca mâna omului, cea mai veche unealtă cu care ne-am săpat o cale de ieşire din sălbăticie şi cu care ne croim în continuare drumul înainte.“

JANE ADDAMS

MOBILITATEA BRAȚELOR

Brațele şi mâinile noastre sunt excepțional de mobile, mult mai mobile decât membrele anterioare ale celor mai multe mamifere. Datorăm această flexibilitate strămoşilor noştri care trăiau în copaci. Brațele primatelor antropoide sunt chiar mai mobile decât ale maimuțelor – fapt care se datorează unui alt mod de a merge prin copaci. Maimuțele sunt preponderent patrupede, se deplasează pe ramuri în patru labe, cu trunchiul orizontal. Ca la majoritatea patrupedelor, pieptul le e turtit în lateral, iar omoplatul, sau scapula, se prinde cu muşchi de laturile cutiei toracice. Primatele se deplasează altfel prin copaci: se cațără, atârnă şi uneori se leagănă susținându-se cu brațele, astfel că îşi țin trunchiul în poziție verticală mare parte din timp, iar pieptul le e aplatizat în față şi în spate. Scapula, sau omoplatul, s-a deplasat spre spatele cutiei toracice aplatizate, astfel încât umerii se situează acum de o parte şi de alta a pieptului. Astfel, brațele se pot întinde în față sau în spate, deasupra capului sau în jos, pe lângă corp. De fapt, articulația umărului nu rămâne pe loc; fiindcă omoplatul „pluteşte“ pe cutia toracică, de care îl leagă muşchii, şi este susținut în față de claviculă, se poate deplasa, punând articulația umărului într-o poziție nouă. Sigur ți-ai simțit până acum omoplatul mişcându-se; încearcă să vezi cât de mult se poate deplasa: poți trage umerii în spate apropiindu-ți omoplații unul de celălalt. Sau îți poți aduce umerii în față. Iar când întinzi brațul deasupra capului, scapula se roteşte pentru ca umărul să se poată orienta în sus şi în lateral.

Articulația umărului este de fapt cea mai mobilă din tot corpul. Caracteristica aceasta este foarte utilă pentru o primată antropoidă care se cațără prin copaci, fiindcă permite brațului să se întindă în orice direcție ca să apuce ramurile. Orice articulație este un compromis



Omoplatul se rotește atunci când ridicăm humerusul.

între mobilitate şi stabilitate. Cea mai stabilă ar fi cea în care oasele ar fi lipite, astfel încât să nu mai fie posibilă nici o mişcare. Cu cât o articulație e mai mobilă, cu atât e mai instabilă. Configurația osoasă a unei articulații mobile trebuie să fie laxă, ceea ce înseamnă că integritatea i-o asigură de fapt țesuturile moi. Dacă ai vedea scapula şi capătul humerusului (capătul de sus al osului din partea superioară a brațului), ai observa că cele două nu prea intră în contact. Locaşul umărului de pe unghiul exterior al omoplatului este foarte mic şi puțin adânc: are cam un sfert din suprafața capului humeral, împreună cu care formează articulația. Ligamentele contribuie şi ele la susținerea umărului, dar muşchii sunt cei care joacă rolul cel mai important în stabilizarea acestei articulații. Un set de muşchi se prinde de muchia omoplatului, apoi de colul humerusului; pe lângă faptul că stabilizează articulația, pot acționa şi individual, pentru a roti humerusul în diverse direcții; împreună formează coiful rotatorilor. În ciuda acestor muşchi, umărul rămâne foarte mobil şi, deci, instabil prin însăşi natura lui: este articulația care se dislocă cel mai des.

Mai jos de umăr, cotul este o articulație simplă, de tip balama, dar antebrațele au mobilitate şi din alte surse: radiusul, osul exterior al antebrațului, se poate deplasa pe propria axă, astfel încât capătul inferior să se rotească până ajunge pe partea *interioară* a celuilalt os al antebrațului, cubitusul, printr-o mişcare numită pronație. E o miş-

care imposibilă pentru multe mamifere. Majoritatea mamiferelor sunt patrupede, iar antebrațele lor se mențin în mod normal în poziția de pronație, astfel încât labele din față au poziția corectă pentru a lua contact cu solul (sau ramurile). Gândeşte-te la cai, vaci sau oi: antebrațele lor sunt *fixate* în pronație. Alte mamifere pot face o mişcare de semisupinație (câinii o pot executa puțin, pisicile poate ceva mai mult) pentru a putea ține obiecte între labe. Dar n-ai văzut nici o pisică în stare să-şi răsucească laba complet, până ajunge cu palma în sus, ceea ce tu poți face foarte uşor. Din nou, ai moştenit această mobilitate de la un strămoş arboricol – răsucind antebrațul pentru a da palmei o mobilitate de 180º, strămoşii tăi puteau întinde mâna ca să apuce mai uşor crengile.

La capătul membrelor superioare ai mâini incredibil de mobile, făcute să apuce obiecte. Flexibilitatea aceasta îți permite să faci lucruri pe care, probabil, le consideri de la sine înțelese – să întinzi mâna pe spate ca să te scarpini între omoplați, să înoți bras sau *crawl* (nu doar „câineşte“), să foloseşti o şurubelniță, să ții o minge sau un castron cu supă în mâna supinată –, dar toate aceste gesturi ar fi imposibile pentru majoritatea mamiferelor. Datorezi această mobilitate a membrelor superioare (a umărului, brațului, cotului, antebrațului, a încheieturii şi a mâinii) moştenirii tale de primată antropoidă; există însă şi diferențe importante între noi şi celelalte antropoide.

UMERII HOMININILOR

La orice altă primată antropoidă, umerii par mereu ridicați, aproape până la urechi. În umăr, chiar şi articulația are „orientare craniană“, adică este orientată în sus – o poziție ideală pentru a întinde brațul deasupra capului. Verii noştri din rândul primatelor antropoide se simt, în general, mai în largul lor în copaci decât noi: majoritatea se cațără tot timpul, atârnă de crengi şi, în cazul gibonilor, se leagănă suspendați de brațe.

Dimpotrivă, umerii noştri s-au lăsat în jos, iar în poziția de repaus claviculele stau aproape orizontal, nu puternic înclinate în sus şi spre exterior, în timp ce articulațiile umerilor sunt orientate în lateral, nu în sus. Este tentantă ideea că umerii s-au lăsat, aproape automat, atunci când strămoşii noştri nu şi-au mai ridicat atât de mult

brațele deasupra capului, dar ar fi un mod de gândire leneş din punct de vedere evolutiv. De ce să „se lase“ umerii pur şi simplu? Trebuie să căutăm un motiv pentru această schimbare de poziție a umerilor. Ce avantaje le-ar fi oferit umerii largi şi joşi strămoşilor noştri? Şi când s-a produs schimbarea?

Se pare că n-a fost vorba de o trecere treptată de la umerii primatelor antropoide la cei umani, ci că umerii homininilor erau de fapt foarte diverşi, deşi, ce-i drept, dovezile fosile pentru elementul acesta al scheletului sunt foarte fragmentare. Se presupune însă că umerii care seamănă cu adevărat cu ai omului modern au apărut foarte târziu.

Nu avem decât câteva fosile de omoplați, sau scapule, de la speciile australopitecine – homininii timpurii care au trăit acum douăpatru milioane de ani, printre care se numărau Lucy şi rudele ei. Fosilele existente sugerează că locaşul umărului era orientat în sus, la fel ca la alte primate antropoide şi spre deosebire de al nostru. Din alte trăsături se poate deduce că omoplații preistorici erau plasați destul de sus pe torace. Când a intrat în scenă Băiatul de la Nariokotome, cu picioarele lui lungi, acum 1,5 milioane de ani, articulația umărului deja nu mai era orientată în sus, dar nici perfect lateral. Băiatul de la Nariokotome avea clavicula foarte scurtă – asemenea altor primate antropoide. Era, până la urmă, doar un băiat, dar se presupune că, chiar dacă ar fi ajuns la maturitate, claviculele lui ar fi rămas relativ scurte în comparație cu ale noastre. Aşadar, deşi articulația umărului coborâse pe torace şi se afla la un nivel comparabil cu al nostru, umerii lui nu erau orientați lateral, ci aveau o poziție mai degrabă anterioară, „spre înainte“.

S-a spus că umerii largi şi joşi s-ar fi dezvoltat fiindcă facilitau alergarea, permițând o contrarotație eficientă a trunchiului care să contrabalanseze forța de răsucire, destabilizatoare, produsă de contactul cu solul al unui picior, apoi al celuilalt. Am văzut că Băiatul de la Nariokotome prezenta şi alte semne că s-ar fi adaptat alergatului, aşa că umerii ar putea fi unul dintre ele. Dar contrabalansul nu ar fi fost cu putință în cazul lui, fiindcă avea umerii destul de înguşti, după cum ne sugerează claviculele scurte. Prin urmare, şi capacitatea lui de a-şi stabiliza capul în alergare era redusă.

La homininii de mai târziu, inclusiv la *Homo antecessor* (specie cunoscută pe baza fosilelor din Sierra de Atapuerca, din Spania, vechi

de aproximativ 800 000 de ani) şi la oamenii din Neanderthal, claviculele sunt lungi, ba chiar mai lungi decât ale omului modern. Claviculele lungi împing umerii în spate, plasând articulația umărului în lateral, de o parte şi de alta a pieptului.

S-a sugerat că schimbarea umerilor s-a produs pentru a înlesni aruncarea, activitate la care oamenii par să se priceapă foarte bine.

Asta nu înseamnă că alte primate antropoide nu aruncă şi ele ocazional cu obiecte, uneori chiar la țintă. Îmi amintesc când filmam un episod din seria *Horizon*, într-un loc cu minunatul nume de Pongoland – zona rezervată antropoidelor la Centrul pentru Studiul Primatelor de la Grădina Zoologică din Leipzig. Unul dintre urangutani nu l-a plăcut deloc pe regizorul nostru. La Pongoland nu te desparte nici un panou de sticlă de animale, te plimbi pe o pasarelă înaltă, împrejmuită de un zid scund, aşa că regizorul şi sunetistul nostru au căzut uşor pradă câtorva proiectile de excremente.

Cu toate astea, corpul tău prezintă o combinație unică de trăsături anatomice, care nu se regăseşte la alte primate antropoide şi care sugerează că aruncările cu brațul ridicat deasupra umărului *trebuie* să fi fost importante pentru strămoşii noştri şi că ți-au modelat anatomia. O astfel de trăsătură sunt umerii poziționați lateral; e limpede că umerii plasați de o parte şi de alta a cutiei toracice făceau aruncarea mai uşoară, permițând brațului să se ducă mai mult în spate. Dar împreună cu alte caracteristici – talia lungă şi flexibilă, care permite rotația trunchiului, şi răsucirea axei humerusului, astfel încât cotul să fie orientat puțin spre exterior –, articulația orientată lateral a umărului oferă şi ea un avantaj la aruncare. S-a demonstrat empiric că toate aceste trăsături contribuie la întinderea tendoanelor, a ligamentelor şi a muşchilor din jurul umărului atunci când brațul este tras înapoi, gata de aruncare. Gestul de a arunca antrenează mulți muşchi, care sunt activați unul după altul într-un lanț ce porneşte din şold şi trunchi şi continuă cu umărul, cotul şi încheietura. Dacă parcurgi mişcările unei aruncări cu brațul ridicat deasupra umărului, îți vei da seama că antrenează o serie de articulații. Acum încetineşte-ți mişcările. Eşti în poziție verticală, cu un picior în fața celuilalt, şi tragi brațul înapoi, gata de aruncare. Apoi începi: mişcarea porneşte din şolduri; pelvisul e bine prins de coloană la articulația sacro-iliacă, aşa că mişcarea de

răsucire se continuă în coloană, până sus. Mişcările mărunte de la o vertebră la alta, cumulate, asigură o rotație puternică până să ajungi cu brațul la nivelul umerilor – care s-au răsucit deja la 90º sau mai mult. Brațul a ajuns acum în fața umărului, folosind incredibila mobilitatea a articulației cu capăt rotund şi locaş concav, iar coloana ți se răsuceşte în continuare, împingând umărul şi mai în față. Articulația de tip balama a cotului se îndreaptă şi, la final, degetele îndoite se desfac ca să dea drumul mingii sau suliței imaginare. Dacă faci mişcarea rapid (eventual afară) cu o minge adevărată, sau, dacă te simți curajos, cu o suliță adevărată, energia elastică conservată în tendoanele şi ligamentele întinse din jurul articulațiilor se va elibera când brațul se ridică deasupra capului, sporind forța aruncării.

E foarte posibil ca *Homo antecessor*, *Homo heidelbergensis*, omul de Neanderthal şi *noi* să avem umerii largi datorită practicii de a arunca lucruri. (Reversul ar fi că probabil Băiatul de la Nariokotome, la fel ca oamenii moderni care au clavicula scurtă, nu prea se pricepea să arunce lucruri.)

Se prea poate ca homininii timpurii precum *Homo antecessor* să fi *putut* să arunce; avem motive să credem acest lucru, având în vedere că aveau umerii lați, orientați lateral altfel ar fi greu să explicăm de ce aceşti indivizi şi-au schimbat atât de mult forma şi poziția umărului. Sunt însă oameni care au nevoie de dovezi clare pentru a se lăsa convinşi. Dar dovezile sunt greu de găsit în astfel de cazuri. Urmele de tălpi ilustrează destul de bine mersul biped, dar *aruncarea* nu lasă astfel de urme. Dacă strămoşii noştri n-ar fi făcut decât să ia pietre sau bețe de pe jos şi să le arunce spre pradă sau spre alți prădători, ca să-i gonească de lângă leşuri, n-am fi avut nici o dovadă arheologică în acest sens. Pietrele aruncate ar arăta ca orice altă piatră, iar bețele ar putrezi. Dar când oamenii încep să facă obiecte cu scopul precis de a le arunca – *suliție*, de exemplu –, putem deduce că, într-adevăr, îşi foloseau umerii plasați lateral în acest scop.

Invenția armelor cu proiectil trebuie să fi fost un progres important pentru strămoşii noştri vânători-culegători. Sulițele existau probabil, de mai multă vreme şi erau folosite de aproape pentru a ucide prada sau contra prădătorilor, dar au devenit mai eficiente atunci când au început să fie aruncate la distanță.

Problema este că e foarte greu de dovedit că o suliță a fost făcută special pentru a fi aruncată! S-au găsit posibile dovezi timpurii într-o colecție de sulițe de lemn de la Schöningen, din Germania, vechi de circa 400 000 de ani. Se pare că aceste sulițe au greutatea optimă pentru a fi aruncate şi constituie o dovadă destul de convingătoare, deşi indirectă, că oamenii aveau această îndeletnicire încă de atunci, dacă nu mai de demult. Sunt însă cercetători care se îndoiesc că sulițele de la Schöningen erau într-adevăr aruncate la distanță. S-au găsit de curând dovezi noi; sunt de dată mai recentă, dar mai concludente.

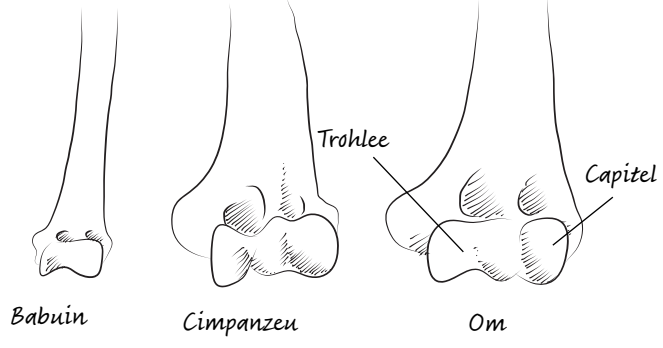
Arheologii au analizat în amănunt fragmentele ascuțite de piatră datând din epoca preistorică, în încercarea de a afla dacă erau folosite ca vârfuri de suliță sau, mai mult, ca vârfuri de sulițe făcute pentru a fi aruncate la distanță. Interpretările s-au bazat în mare parte pe comparații etnografice cu unelte similare produse de vânătorii-culegători din ziua de azi şi pe proprietățile fizice ale vârfurilor de piatră – mărimea, forma şi greutatea lor. Mai nou, arheologii au început să folosească noțiuni din domeniul balisticii şi cercetează fisurile de pe suprafața vârfului de suliță, care arată cât de repede se deplasa acesta când şi-a lovit ținta. Ultimele dovezi vin din Valea Marelui Rift, din Etiopia, unde arheologii au descoperit, la situl Gademotta, mii de fragmente şi vârfuri făurite dintr-o rocă vulcanică cu aspect de sticlă, numită obsidian. Crăpăturile de pe vârfurile de obsidian sugerează că în momentul impactului acestea aveau o viteză de aproximativ 1 000 m/s, ceea ce înseamnă că erau probabil vârfuri de lance.

Vârfurile de obsidian sunt vechi de aproape 300 000 de ani; prin urmare, armele cu proiectil erau folosite cel puțin încă de atunci. S-a considerat dintotdeauna că numai omul modern cioplea vârfuri de piatră pentru lănci sau sulițe, pe care apoi le folosea ca proiectile. În sens strict, omul modern (nu orice *Homo*, ci specia noastră: *Homo sapiens*) a apărut în peisaj de-abia acum 200 000 de ani, dar vârfurile de la Gademotta ne arată că acest tip de comportament „modern“ a apărut înaintea anatomiei „moderne“. Deducem de aici un fapt important: comportamentul modern şi anatomia modernă nu au apărut peste noapte, la pachet. Trăsăturile care caracterizează specia noastră azi s-au ivit treptat, ca într-un mozaic.

COATE, ÎNCHEIETURI ŞI MÂINI DE PRIMATĂ ANTROPOIDĂ

Cotul tău seamănă în linii mari cu cel al oricărei primate antropoide din ziua de azi. Coatele antropoidelor sunt foarte diferite de ale maimuțelor; la ambele specii, suprafețele articulației de la capătul humerusului se împart în două: un capitel („căpşor“, în latină) rotund şi o trohlee („scripete“, în latină) în formă de mosor, care se articulează cu radiusul şi, respectiv, cu cubitusul. Sfera capitelului se articulează cu capul în formă de farfurie al radiusului, fapt care permite flexiunea şi extensia acestuia alături de cubitus; radiusul se poate roti în acelaşi timp în jurul axei proprii pentru a realiza mişcările de supinație şi pronație.

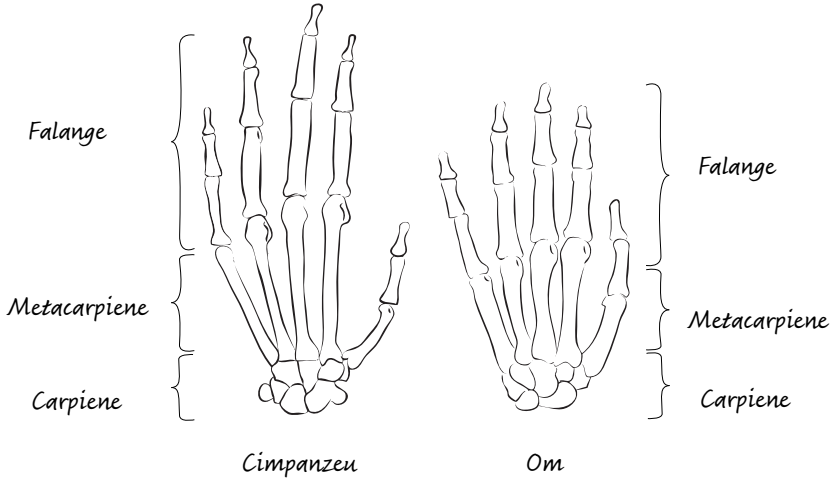
Mişcările acestea ale antebrațului, supinația şi pronația, mi se par două dintre cele mai fabuloase realizări ale corpului uman. Cele mai multe mamifere *nu le pot face*, iar noi le luăm de-a gata. Le datorăm această abilitate strămoşilor noştri arboricoli, dar în prezent ne folosim de ea pentru a manipula tot felul de obiecte. Faptul că ne putem răsuci antebrațul ne permite să ne îndreptăm palmele în mai multe direcții. Încearcă şi tu: aşază-te, ține coatele pe lângă talie şi antebrațele şi mâinile paralel cu coapsele. Întoarce mâinile cu palma în sus şi degetele mari în exterior. Acum, antebrațul tău se află într-o poziție supinată. Roteşte mâinile spre interior, punând palma pe coapsă.



Capătul inferior al humerusului la babuin, la cimpanzeu și la om

Tocmai ai efectuat o mişcare de pronație. Repetă mişcările şi, de data asta, observă-ți atent antebrațele şi încheieturile. Rotația nu are loc la articulația încheieturii, ci în antebraț. Radiusul este poziționat inițial pe exteriorul antebrațului. În pronație, antebrațele orientează palmele în jos, iar capătul distal, dinspre încheietură, al radiusului se răsuceşte *peste* cubitus, astfel că acum se află pe interior. Cu alte cuvinte, cele două oase ale antebrațului care în supinație stăteau unul lângă altul, paralele, se încrucişează în mişcarea de pronație. Mişcarea aceasta le-a permis strămoşilor tăi arboricoli să-şi întindă mâinile după ramuri din aproape orice unghi. Datorită ei, poți folosi astăzi şurubelnița.

Primatele antropoide îşi folosesc brațele altfel decât strămoşii lor din rândul maimuțelor şi au nevoie de coate bune, puternice. La capătul humerusului, forma trohleei la primate (inclusiv la noi) se deosebeşte mult de a maimuțelor. Forma de mosor este pronunțată, cu margini puternic marcate, care mențin stabilitatea osului cubitus într-o gamă largă de mişcări – lucru foarte util la o primată care se foloseşte de brațe pentru a se cățăra şi a atârna de crengi. În plus, primatele antropoide au în partea din spate a humerusului o adâncitură accentuată, în care intră olecranul cubitusului (nodul din spatele cotului) atunci când cotul este complet extins.



Oasele mâinii la cimpanzeu și la om

Dar pe măsură ce ne apropiem de extremitatea membrului, de încheietură şi de mână, se observă o diferență importantă. Iată cum arată oasele mâinii tale în comparație cu ale unui cimpanzeu:

Aşadar, labele picioarelor de cimpanzeu arată ca nişte mâini (din punctul nostru de vedere), iar mâinile cimpanzeilor arată ca… în fine, nu prea arată a mâini. De ce au oare degetul mare atât de scurt? Şi de ce au celelalte degete atât de lungi?

La un aşezământ pentru cimpanzei din Entebbe, pe malul lacului Victoria, în Uganda, am avut ocazia să analizez foarte îndeaproape mâinile cimpanzeilor. Am intrat pe insula cimpanzeilor, împreună cu echipa de filmare, printr-o poartă înaltă, de care primatele să nu poată trece. Când au venit spre noi, m-am lăsat la pământ să-i întâmpin; aveam buzunarele pline de alune, lucru pe care l-au observat imediat – eram dintr-odată prietena lor cea mai bună. Erau foarte obişnuiți cu oamenii şi cu atingerea umană, aşa că au sărit îndată pe mine – cel mai mic, o femelă pui de trei ani şi jumătate pe nume Nipper (un nume foarte potrivit![1]) s-a cățărat pe mine, iar când m-am ridicat mi s-a urcat pe picioare şi pe spate şi m-a cuprins pe după umeri cu brațele ei lungi. Ne-am dus la un „muşuroi de termite“ artificial, construit de îngrijitori – un deluşor de noroi înalt de un metru, în care erau tuburi de plastic unse cu miere. Cimpanzeii cunoşteau jocul şi au început să adune bețe de bambus pe care le băgau în găuri ca să ajungă la gustarea delicioasă.

Era fascinant să-i vezi cum îşi foloseau mâinile, cum îşi încleştau toate degetele în jurul bățului, spre deosebire de noi, care l-am apuca între degetul mare şi celelalte degete. Ia în mână un creion şi vei înțelege imediat diferența.

Am încercat să filmez câteva cadre lângă muşuroi, în timp ce Nipper îmi sărea în spate şi mă muşca de brațe (destul de tare, dar în joacă, deloc amenințător). Dacă cimpanzeii din pădurea Kibale, unde filmasem în trecut, ignorau oamenii aproape complet, aceştia (care fuseseră salvați din rețeaua de comerț cu animale de companie sau de la vraci, sau fuseseră găsiți în pădure, grav răniți) păreau să vadă în oameni nişte semeni ai lor. Tinerii mai ales ne vedeau ca pe nişte parteneri de joacă, la fel ca pe ceilalți cimpanzei. Joaca a deve-

1. De la *nip*, „muşcătură uşoară“ (en.) (n. tr.).

nit destul de dură, aşa cum mă avertizase unul dintre îngrijitori, iar cel mai mare dintre cei trei cimpanzei cu care filmam, un mascul de şase ani, era destul de puternic. S-a repezit la mine şi m-a lovit destul de tare de câteva ori. Am avut noroc că nu mi-am pierdut microfonul; aveam transmiţătorul cât un telefon mobil legat cu o centură sub vestă şi cămaşă, dar cimpanzeii ştiau că era ceva acolo şi îmi tot băgau mâinile pe sub cămaşă, la spate, ca să ajungă la el.

M-am aşezat pe jos cu cimpanzeii ca să le dau nişte fructe: avocado, pe care le-au aruncat, şi portocale, pe care le-au luat, le-au desfăcut şi le-au devorat. Citisem nişte lucrări de Mary Marzke şi Matthew Tocheri despre mâna omului şi mâna cimpanzeului. Felul în care ţineau mâncarea le-a permis cercetătorilor să observe cum manipulau cimpanzeii obiectele şi să compare modurile lor de a apuca cu cele folosite de oameni la cioplirea uneltelor de piatră. Cimpanzeii aveau o capacitate de-a apuca similară, dar păreau să aibă degetul mare mai slab, în timp ce oamenii îmbinau precizia cu forţa când manevrau obiecte. Marzke observa că priza „cheie“, în care degetul mare este împins spre celelalte degete îndoite, avea un rol important în felul în care omul făurea şi utiliza uneltele. Şi cimpanzeii o foloseau în această priză, dar de multe ori susţineau hrana şi cu cealaltă mână sau cu un picior, neputând ţine strâns obiectul cu o singură mână. De asemenea, la cimpanzei, prizele mai largi, pentru obiecte sferice, erau mai slabe. Dacă noi ţinem fără probleme un măr în mână atunci când muşcăm din el, cimpanzeii se folosesc uneori de cealaltă mână ca să scoată fructul din gură.

După ce citisem studiile respective, era fascinant să văd cum femela mai în vârstă, Sarah, ţinea o portocală cu ambele mâini, între degetele mari şi celelalte, şi muşca din miezul suculent. Avea degetele mari foarte scurte, de-abia dacă ajungeau la nodurile celorlalte degete (articulaţiile metacarpofalangiene). În plus, erau mai subţiri faţă de celelalte degete, care erau mai lungi şi mai robuste. Deşi mâna noastră are în fond aceeaşi anatomie, aceleaşi oase şi aceiaşi muşchi, diferenţele erau evidente. Ar fi tentant să spunem că aceste diferenţe au legătură cu predispoziţia lui Sarah de a merge sprijinindu-se în pumni, mers pentru care ar avea nevoie de degete robuste, în timp ce la mâna mea, degetul mare mai puternic (ca şi degetul mic, în partea opusă a mâinii) ar fi putut apărea ca adaptare la cioplirea şi utilizarea

uneltelor. Sunt sugestii rezonabile, dar dacă vrem să identificăm aceste trăsături drept adaptări, trebuie să vedem care e rolul lor. Trebuie, de asemenea, să ştim prin ce schimbări au trecut mâinile noastre şi ale cimpanzeilor din vremea ultimului strămoş comun şi până astăzi.

MÂINILE STRĂMOŞILOR NOŞTRI

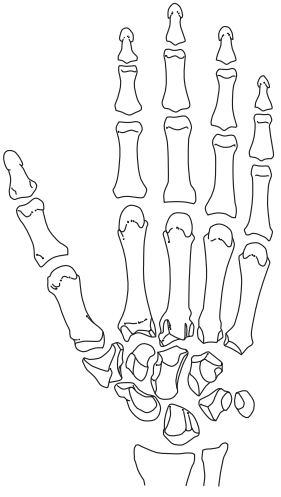
Oasele fosilizate ale lui Ardi, vechi de 4,4 milioane de ani, ne ajută să înțelegem cum ar fi putut arăta mâna ultimului strămoş comun al cimpanzeului şi al omului. Din nou, se dovedeşte eronată ideea că mâna ancestrală arăta precum aceea a cimpanzeilor moderni. Mâinile lor s-au schimbat la fel de mult, dacă nu mai mult, în milioanele de ani care s-au scurs de când a trăit strămoşul nostru comun.

Degetele lui Ardi erau lungi şi curbate, dar nu la fel de lungi ca ale cimpanzeilor. Degetele lungi şi curbate sunt caracteristice gorilelor şi cimpanzeilor şi par să aibă legătură cu obiceiul de a apuca ramuri şi de a atârna prin copaci. Cimpanzeii tineri şi gorilele tinere au falangele (oasele degetelor) foarte curbate, iar pe măsură ce se maturizează degetele li se îndreaptă – consecința faptului că tinerii şi adulții se deplasează diferit. Gorilele tinere petrec mult mai mult timp în copaci decât adulții mai mari şi mai grei. În plus, avem motive să credem că degetele curbate s-ar dezvolta *ca urmare* a modului în care sunt folosite. Curbura oaselor de la degete pare a fi o adaptare cu adevărat utilă pentru primatele antropoide care atârnă prin copaci: solicită mai puțin osul.

La gorile şi la cimpanzei, metacarpienele – cele cinci oase din palmă care se întind spre degete – sunt lungi, în timp ce Ardi, homininul vechi de 4,4 milioane de ani, avea metacarpienele scurte. Vedem astfel că metacarpienele au evoluat independent la gorile şi la cimpanzei, la care sunt mai lungi, probabil pentru că aceste animale obişnuiesc să se cațăre şi să atârne prin copaci. Avem aici un caz de evoluție convergentă, în care o trăsătură anatomică similară apare la specii cu ascendenți diferiți, de obicei fiindcă trăiesc în medii asemănătoare sau au un stil de viață asemănător. Metacarpienele scurte, ca ale lui Ardi, permit, dimpotrivă, mâinii să se plieze bine pe ramură, trăsătură utilă pentru un cățărat prudent. Ardi are degetul mare destul de robust în comparație cu primatele antropoide africane moder-

ne. Din nou, observăm că ultimul strămoş comun al oamenilor şi al cimpanzeilor nu semăna deloc cu cimpanzeii – nu e vorba de un animal care mergea sprijinindu-se în mâini sau care obişnuia să se cațăre în copaci ori să atârne de crengi; în unele privințe, semăna poate mai mult cu un urangutan decât cu un cimpanzeu, dar se deosebea de orice primată antropoidă din ziua de azi.

Lucy şi rudele ei, australopitecii din regiunea Afar, care au trăit în vremuri mai apropiate de noi decât Ardi, acum trei-patru milioane de ani, aveau şi ele degetele curbate. Deşi suntem siguri că erau complet bipede, falangele lor curbate sugerează că îşi petreceau cel puțin o parte din timp în copaci. Poate că Lucy încă se mai cățăra ca să culeagă fructe şi îşi făcea un cuib între crengi în care să doarmă noaptea, ca cimpanzeii. Don Johanson, paleoantropologul care a descoperit-o pe Lucy, a luat în considerare sugestiile de mai sus, dar a atras atenția că se poate ca degetele ei încovoiate să fi fost doar o moştenire. Şi alte elemente ale anatomiei lui Lucy susțin această ipoteză. Anatomia coloanei ne arată că probabil nu petrecea prea mult timp prin copaci. La cimpanzei şi gorile, coloana scurtă şi rigidă reduce riscul de accidentare şi face mai uşoară trecerea dintr-un copac în altul. Lucy, dimpotrivă, avea coloana lombară lungă şi flexibilă, ceea ce sugerează că abandonase aproape complet viața arboricolă.



Mâna omului

Revenind la mâini, degetele lui Lucy erau mai scurte decât ale primatelor antropoide africane şi semănau mai bine cu ale noastre, iar degetul mare era lat la vârf, dar totuşi firav în comparație cu al nostru. Cu toate astea, cel puțin una dintre speciile de australopitecine avea mâini mai „umane“. Fosilele de oase ale mâinii sunt în general foarte rare, dar într-un sit din Africa de Sud s-au găsit o încheietură şi o mână aproape complete, vechi de aproape două milioane de ani, despre care se crede că au aparținut speciei *Australopithecus sediba*. Mâna este incredibil de „modernă“, cu degete scurte şi degetul mare lung şi robust, ceea ce ne face să credem că australopitecina respectivă îşi folosea mâinile într-un fel aparte. Multă vreme s-a considerat că numai indivizii din genul nostru, *Homo*, au făurit unelte din piatră (una dintre speciile cele mai timpurii din acest grup se numeşte *Homo habilis* – „omul îndemânatic“); având în vedere datarea timpurie a uneltelor de piatră, e evident însă că şi unii australopiteci îşi făceau unelte. Avem dovezi din belşug despre uneltele făurite de homininii de mai târziu (ca *Homo antecessor*, din Spania, sau omul de Neanderthal), ale căror mâini seamănă mai mult cu ale noastre (deşi sunt foarte robuste), cu cele patru degete scurte şi drepte şi cu degetul mare puternic.

DEGETE MARI UNICE

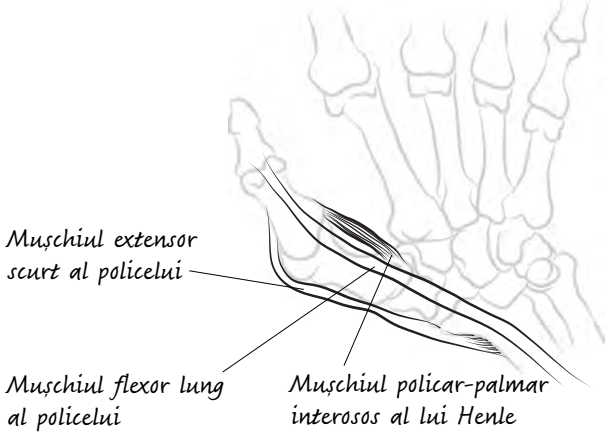
Diferența dintre degetul mare uman şi cel al altor primate vii nu se limitează la anatomia oaselor. Tu şi cu mine avem anumiți muşchi ai degetului mare care le lipsesc altor primate antropoide, chiar şi rudelor noastre celor mai apropiate, cimpanzeii. Între primul şi al doilea metacarpian ai un muşchi care trage cu putere degetul mare spre celelalte degete. Se numeşte muşchiul adductor al policelui şi se dezvoltă foarte mult dacă obişnuieşti să mânuieşti unelte. Am observat că muşchii interosoşi palmari se dezvoltă vizibil la arheologii care lucrează pe şantier şi mută cantități considerabile de pământ cu mistria. Aceşti muşchi se văd foarte clar dacă pui mâna pe o suprafață tare, cu palma în jos: muşchii interosoşi sunt proeminenți în spațiul dintre degetul mare şi arătător. Mărturisesc că am văzut într-un loc arheologi care îşi comparau mărimea muşchilor interosoşi. De fapt, muşchiul adductor al policelui nu apare doar la

oameni; există însă un muşchi mic care stă alături de el şi îl ajută, care este într-adevăr exclusiv uman. Poartă numele destul de vioi de muşchi policar-palmar interosos al lui Henle.

Mâna omului mai are doi muşchi unici: un (alt) extensor, care trage degetul spre lateral, şi un muşchi care porneşte din partea din faţă a antebraţului, al cărui tendon lung trece peste încheietură, intră în mână şi se ataşează de ultima falangă a degetului mare: un flexor puternic. Mai sunt primate care au acest muşchi, dar la ele intră în componenţa muşchiului flexor profund, care trimite şi el tendoane spre toate degetele. La om, muşchiul flexor lung al policelui este de sine stătător. Am putea spune că e chiar frumos: tendonul începe din antebraţ, iar fibra musculară se prinde de el într-un unghi care îl face să semene cu o pană de scris.

De ce are muşchiul flexor lung al policelui un statut aparte la oameni? Ce face el de fapt? Răspunsul de bază este, firește, că flexează degetul mare. Mulți cercetători au sugerat că acest muşchi este crucial pentru o activitate tipic umană: făurirea uneltelor.

Măiestria noastră tehnologică este unică. Şi alte animale au cultură materială, aşa că nu e vorba de o diferenţă de fond între noi şi alte specii, dar noi, oamenii, ne remarcăm prin calitatea a ceea ce producem. Tehnologia noastră de azi e la ani-lumină distanţă de primele dovezi tehnologice – uneltele de piatră; o altă trăsătură distinctivă a noastră este că le transmitem urmaşilor cunoştinţele şi abilităţile


Muşchiul extensor scurt al policelui
Muşchiul flexor lung al policelui
Muşchiul policar-palmar interosos al lui Henle

Muşchi ai degetului mare care există doar la om.

pe care le-am dobândit în timp – îmbogățim cultura pe care o moştenim. Cele mai vechi unelte de piatră au fost găsite în Etiopia şi au o vechime de 2,6 milioane de ani. Este, aşadar, firesc ca anumite particularități ale anatomiei mâinii omeneşti să reflecte tradiția străveche a făuririi de unelte. Mulți cercetători au văzut o legătură între îndeletnicirea aceasta şi muşchiul flexor lung al policelui, întâlnit exclusiv la oameni; este de presupus că un deget mare *robust* ar fi oferit şi el un avantaj cioplitorului de unelte, ajutându-l să opună rezistență forței puternice generate atunci când lovea două pietre între ele până obținea nişte cioburi.

Auzisem despre nişte studii noi şi interesante, care analizau structura şi modul în care operează mâna omului, aşa că am mers la George Washington University, din Statele Unite, ca să stau de vorbă cu Brian Richmond şi Erin Williams. Aceştia studiau forțele care acționează asupra mâinii atunci când ciopleşte şi întrebuințează uneltele din piatră. Mai precis, voiau să testeze ipoteza potrivit căreia aspectele unice ale anatomiei degetului mare la om aveau legătură cu făurirea de unelte.

Îndată ce am intrat în laboratorul lor, au profitat de ocazie ca să mă transforme în participant la studiu. Erin mi-a ataşat la fiecare deget captori de presiune subțiri, ca nişte benzi. Am încercat apoi să fac o unealtă primitivă de piatră, în timp ce Erin înregistra variațiile de presiune exercitate asupra mâinii mele. Am încercat după aceea să folosesc cioburile de piatră pe care le făcusem ca să tai o bucată de carne. Probabil că nu eram persoana cea mai indicată pentru acest experiment – nu exersasem deloc înainte şi, oricum, e mai greu decât s-ar crede să loveşti două pietre între ele până obții un ciob. Din fericire, există şi în ziua de azi oameni care şi-au cultivat o îndemânare de a ciopli comparabilă cu cea pe care ştim (din uneltele lor) că o posedau şi strămoşii noştri din paleolitic. Brian şi Erin avuseseră ocazia să studieze presiunea exercitată asupra mâinilor unor cioplitori cu experiență, iar rezultatele au fost neaşteptate: se exercita o forță puternică asupra degetelor mijlociu şi arătător, dar nu şi asupra degetului mare.

În schimb – iar rezultatele mele se înscriau în datele generale ale studiului –, când am început să mânuiesc un ciob de piatră, presiunea asupra degetului mare a crescut brusc. Țineam ciobul, aşa cum

e şi firesc, între degetul mare şi partea laterală a arătătorului îndoit. Măsurătorile arătau că apăsam puternic cu degetul mare ca să țin unealta pe loc în timp ce-i foloseam muchia ascuțită ca să tai o bucată de carne. *Atunci* creştea presiunea din degetul mare mai mult decât în restul degetelor, şi nu în timp ce încercam să făuresc unealta.

Este un rezultat interesant, fiindcă, în comparație cu mâinile cimpanzeilor (şi, se presupune, ale ultimului nostru strămoş comun), degetele noastre mari sunt mult mai robuste şi mai puternice. Parte din puterea aceasta de a apuca se datorează flexorului lung al policelui, un muşchi specific omenesc. Se pare că degetele noastre puternice au evoluat ca urmare a presiunii exercitate în timpul *utilizării* uneltelor de piatră, şi nu în timpul cioplirii lor.

Uită-te la mâna ta. Vei vedea reminiscențe ale unor strămoşi foarte îndepărtați, trăsături pe care le împărtăşim cu alte primate, dar şi caracteristici care par să fie specific umane. Ai cinci degete, un număr primitiv, moştenit de la un strămoş preistoric, număr la care s-a ajuns după ce creaturi ca *Acanthostega*, tetrapodul timpuriu asemănător cu tritonul, au făcut o mulțime de experimente cu degetele de la mâini şi de la picioare. Musculatura de bază care-ți permite să mişti încheietura şi degetele se întâlneşte şi la amfibienii din ziua de azi. Dar, spre deosebire de aceştia, tu ai degete mari opozabile. Nu doar oamenii au această trăsătură, ci şi majoritatea primatelor. În plus, ai unghii în loc de gheare – la fel ca primatele. Ai, de asemenea, o mulțime de caracteristici mai recente – cum ar fi degetul mare puternic şi muşchiul unic care îl dirijează –, care ne-au transformat mâinile în nişte organe capabile să sculpteze, să producă şi să mânuiască unelte. Când îți priveşti mâna şi o mişti, ți se înfățişează înaintea ochilor toată istoria evolutivă.

CUM AM APĂRUT

LOCUL NOSTRU ÎN ARBORELE VIEȚII

„Este sublimul omenesc,
Zenitul măreției, de-a ne ști
Părți ce compun mirabilul întreg.“

COLERIDGE

La capătul acestei călătorii anatomice, când îți vei privi mâna vei vedea nu doar ceva care s-a dezvoltat dintr-un mugure embrionar, ci şi ceva care a evoluat din înotătoarea unui peşte, de-a lungul a milioane de ani şi generații. Oricât de diferiți ni s-ar părea nouă că suntem față de alte animale, fiecare dintre noi a fost modelat de aceleaşi forțe care acționează şi asupra celorlalte forme de viață de pe planetă. Eşti rezultatul procesului care a dezvoltat un corp omenesc dintr-un ovul fertilizat. Pe o scară temporală mai mare, eşti produsul evoluției; de la ochii tăi, care disting culorile, la laringele care emite vocea şi la fața zâmbitoare, de la inimă şi plămâni până la vârful degetelor de la picioare, scurte şi aliniate, şi la vârful degetelor de la mâini: cele mari şi robuste şi cele mai lungi şi îndemânatice. În anatomia noastră se ascunde o istorie profundă. Cum spunea atât de frumos Terry Pratchett: „*Suntem* istorie."

Naşterea copiilor mei mi-a reîmprospătat senzația aceasta de uimire: mi se pare uluitor că am fost gazda acestui act extraordinar de creație, că s-a desfăşurat în mine procesul acela incredibil, ca de origami, care a folosit resurse din corpul meu ca să construiască un corp nou şi micuț, până când, după nouă luni, a venit pe lume un copil. Încă ne străduim să înțelegem acest proces. Toți copiii pun la un moment dat această întrebare fundamentală: „Cum apar bebeluşii pe lume?" Încercăm atunci să dăm un răspuns onest care să fie, în acelaşi timp, credibil şi adecvat unui copil.

Am descoperit deja multe secrete ale istoriei noastre recente – povestea dezvoltării noastre embrionare. Ştim de ceva vreme cum apare embrionul din contopirea unui ovul cu un spermatozoid; apoi ghemul de celule se preface într-un disc, se răsuceşte sub formă de cilindru, îi ies mugurii din care vor creşte membrele, iar celulele din

minusculul corp se înmulțesc, migrează şi mor pentru a sculpta țesuturile şi organele unui corp omenesc. Dar numai de curând au reuşit embriologii să înțeleagă *cum* se desfăşoară procesul: ce determină celulele să se dividă, să migreze sau să se sinucidă. De-abia acum începem să înțelegem cum ne dictează ADN-ul dezvoltarea. N-a trecut mult de când geneticienii au reuşit pentru prima oară secvențierea genomului complet al unei persoane; de-abia acum începem să înțelegem modul în care genele conlucrează şi interacționează cu mediul pentru a transforma un ovul într-un nou-născut (şi, în cele din urmă, într-un adult). Cu cât descoperim mai multe, cu atât se complică lucrurile, în sensul că nu sunt importante doar genele în sine, ci şi segmentele de ADN dintre ele, care au un rol în reglarea genelor. Mai mult, ADN-ul se poate modifica chimic pe durata vieții, ceea ce ne trimite la un alt nivel de complexitate şi la o nouă disciplină de studiu, epigenetica.

Deşi am parcurs cale lungă de pe vremea lui Aristotel, tot mai avem mult până să înțelegem cu adevărat miracolul acesta biologic. Deşi ideile vechi, ca epigeneza şi preformaționismul, par perimate în lumina a ceea ce ştim acum despre dezvoltarea embrionară, se pare că amândouă aveau în ele un grăunte de adevăr.

Când microscopia le-a permis biologilor să *vadă* spermatozoizii şi ovulele, a fost limpede că începuturile vieții presupuneau mult mai mult decât simpla amestecare a fluidelor, cum sugerase teoria epigenezei avansată de Aristotel. Dar nici spermatozoidul, nici ovulul nu conțineau ceva care să poată fi luat drept un om în miniatură. Nu exista un om miniatural gata format nici în gameți, nici în ovulul fertilizat. Embrionul în primele stadii de dezvoltare nu semăna deloc cu un nou-născut şi nicidecum cu un adult în miniatură. În secolul al XVIII-lea, Caspar Wolff a văzut cum se dezvoltă complexitatea din începuturi simple, cum de la un ghem de celule se formează treptat țesuturi diferențiate. În embrion apărea, încet-încet, o structură detaliată, care părea să se desfăşoare firesc, aşa cum apar florile de gheață la geam.

Wolff avea dreptate: embriogeneza are la bază procesul de diferențiere: începe cu celulele stem şi sfârşeşte cu țesuturile diferențiate, din care se formează pielea, muşchii, oasele, cartilajul, nervii şi celelalte. Dar celula inițială, ovulul fertilizat, nu este atât de simplă pe cât pare la microscop. Acum ştim că ea conține un cod – ADN-ul

necesar pentru a construi un organism întreg. Nu ne întoarcem oare la preformaționism? E adevărat că nu există un om miniatural, gata format, în ovul, dar în această celulă complexă se află rețeta pentru a construi un om. „Ideea“ corpului uman este prezentă încă de la început, este înscrisă în cele patru litere ale codului ADN. „Ideea“ aceasta nu este însă un proiect sau un plan, ci o serie de instrucțiuni care vor duce la generarea unei forme. În sensul acesta, formarea omului chiar seamănă cu arta origami: un set de instrucțiuni foarte simple pot duce la forme complexe.

Iată deci ce am înțeles până acum: pe parcursul epigenezei, lucrurile simple se transformă în lucruri mai complexe, dar nu aşa cum apar florile de gheață, ci într-un mod mult mai controlat: ADN-ul din ovulul fertilizat preia controlul şi dă toate instrucțiunile de care are nevoie embrionul pentru a-şi spori complexitatea. Dar explicația aceasta e prea simplă; sugerează că genetica e totul când vine vorba de dezvoltare, or ştim că nu e aşa. Gemenii identici genetic nu se dezvoltă *exact* la fel, iar diferențele apar ca urmare a interacțiunii dintre ADN şi mediu. Mediul joacă un rol şi în timpul dezvoltării intrauterine, dar devine cu atât mai important după naştere. ADN-ul nu dictează amănunțit cum anume ți se va dezvolta corpul (inclusiv creierul), ci dă instrucțiuni care au o anume flexibilitate: stabileşte parametri. Este un fapt important, care permite inovațiile, ceea ce înseamnă că uneori se petrec schimbări semnificative într-un organism, fără să intervină mutațiile genetice. Să ne amintim de posibilele schimbări prin care a trecut corpul omenesc când strămoşii noştri au început să alerge.

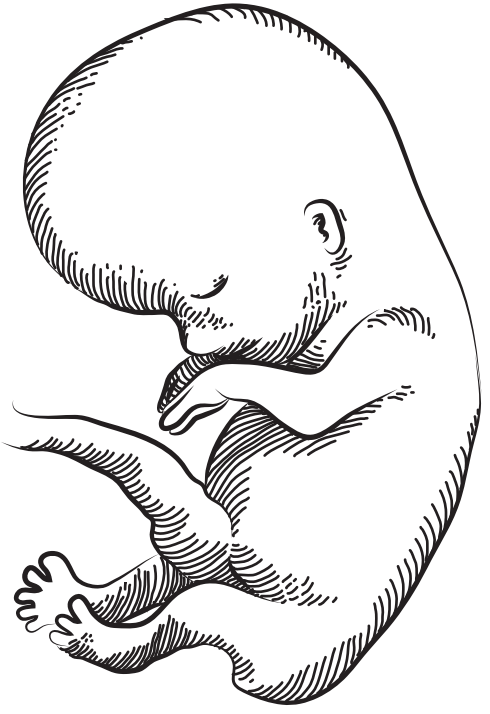
Dezvoltarea noastră embrionară este profund şi inextricabil împletită cu o istorie mult mai veche. Deşi n-ai trecut prin toate etapele istoriei tale evolutive în timpul dezvoltării *in utero*, totuşi ecourile embrionare ale strămoşilor preistorici sunt imposibil de ignorat – ai avut, pe rând, segmente ca de larvă, branhii, inimă de peşte, creier de amfiox. Biologia dezvoltării evolutive (sau „EvoDevo“[1]) îmbină evoluția cu dezvoltarea embrionară, filogenia cu ontogenia. Se cunosc de mult paralele dintre cele două istorii evolutive – evoluția speciilor de-a lungul timpului şi dezvoltarea embrionară a unui singur individ –, dar mulțumită progreselor din biologia moleculară, biologii

1. De la *evolutionary developmental biology* (en.) (n. tr.).

descoperă acum baza genetică a schimbărilor survenite în evoluție şi în dezvoltarea embrionară.

Dacă Ernst Haeckel propunea ideea că embrionii îşi recapitulează istoria evolutivă, teoria divergenței şi diferențierii a lui Karl Ernst von Baer spunea altceva: că în embrioni existau rămăşițe ale *embrionilor* unor strămoşi de demult, şi nu ale adulților ancestrali. Teoria are sens, dacă percepem schimbarea evolutivă ca pe o cumulare de caracteristici sau ca pe o modificare în calendarul dezvoltării.

Arheologii spun de multe ori că un sit este ca un palimpsest în care s-au suprapus mai multe perioade. Este o analogie minunată: palimpsestul este un pergament străvechi, care a fost şters pentru a face loc unui text nou: „palimpsest“ înseamnă „răzuit din nou“ în greacă. Pentru un sit arheologic, analogia cu un manuscris vechi, care a fost şters (aproape) complet şi rescris, pe care îşi lasă amprenta fiecare generație sau cultură, este foarte adecvată. Dezvoltarea embrio-



Embrionul uman la opt săptămâni

nară seamănă cu un palimpsest mult mai modern; analogia funcționează dacă ne închipuim un document scris într-un program de procesare de text – documentul se schimbă în timp, se pot adăuga sau şterge cuvinte oriunde în text, iar schimbările acestea mărunte îi pot modifica în mod semnificativ sensul. Citind documentul, te vor izbi asemănările cu ciornele mai vechi. Embrionul uman în prima lui fază de dezvoltare – ghemul acela de celule din prima săptămână – arată ca orice alt embrion de vertebrată. Prima formă a inimii lui arată ca inima embrionului (şi a adultului) de rechin. Dar la opt săptămâni de la concepție, este deja recognoscibil ca ființă umană.

MAREA ŞANSĂ A EXISTENȚEI

Evoluția avansează făcând schimbări mărunte în dezvoltarea embrionară a organismelor. Pare periculos, şi de multe ori este, fiindcă multe mutații genetice produc urmaşi complet neviabili – probabil mult mai des decât am crede. De fapt, este imposibil de determinat câte sarcini eşuează, fiindcă embrionii anormali se pierd adesea foarte devreme, la două-trei săptămâni de la fertilizare, de multe ori fără măcar să afecteze ciclul menstrual şi să ducă la lipsa unei menstre. Se estimează că se pierd cam *jumătate* din embrionii concepuți, mulți înainte chiar să fie observați. Dintre sarcinile acestea nereuşite, se estimează că o jumătate prezintă anomalii cromozomiale majore. Avorturile spontane funcționează ca un program de control natural; fără ele, se crede că nu 2%, ci aproximativ 12% dintre bebeluşi s-ar naşte cu defecte congenitale. Dar, fireşte, avorturile spontane nu apar doar în primele zile şi săptămâni; cam o cincime dintre sarcinile detectate cu un test se întrerup spontan înainte de douăsprezece săptămâni.

Nu e ceva despre care părinții să vorbească prea des, dar ilustrează din nou cât de improbabil e faptul că exişti; după ce spermatozoidul *acela* a fertilizat ovulul *acela*, ai ajuns în uterul mamei, te-ai prins bine de el şi ți-ai continuat dezvoltarea până te-ai născut.

Având în vedere cât de complicată e dezvoltarea embrionară – care include conversația între gene, precum şi proprietățile țesuturilor în dezvoltare, rezultate din coeziunea mai strânsă sau mai laxă a celulelor –, este de-a dreptul remarcabil că mutațiile genetice nu o tulbură mai des. E important să ne dăm seama că modificările acestea

mărunte au limitele lor. Posibilitățile de schimbare ale unui organism deja complex suferă constrângeri destul de rigide. Limitările inerente mecanicii dezvoltării (ce funcționează şi ce nu din punctul de vedere al genelor), precum şi constrângerile impuse de natura materialelor biologice înseamnă că viitorul unei specii, oricare ar fi ea, nu este plin de posibilități infinite. Din nou, selecția naturală nu pare să „controleze“ direcția evoluției în măsura în care credeam noi că o face, ci are opțiuni limitate.

O altă consecință a naturii limitate a dezvoltării embrionare este că trăsăturile individuale nu sunt libere să varieze independent unele de altele. Trebuie să fim atenți când studiem un organism din punct de vedere anatomic şi îi analizăm fiecare trăsătură din perspectivă evolutivă: caracteristicile individuale nu apar izolat, nu au fost gândite să funcționeze de unele singure, iar ceva ce pare a fi un detaliu anatomic important, fiindcă diferă de ce vedem la alte animale, poate fi de fapt doar o anomalie.

Stephen Jay Gould ilustra ideea aceasta printr-o analogie cu arhitectura, dând exemplul bazilicii San Marco din Veneția, unde între bolți şi domul de deasupra există nişte suprafețe aproximativ triunghiulare. Elementele acestea arhitecturale se numesc „pânze de boltă. Nu intrau în planul arhitectului, dar au apărut fiindcă între marginea arcului şi baza domului există un spațiu liber. Pentru că sunt acolo, li se găseşte o întrebuințare. La San Marco au fost pictați pe aceste pânze de boltă cei patru evanghelişti.

Gould susținea că nu toate trăsăturile unui organism apar ca o consecință directă a selecției naturale. Multe caracteristici „vin la pachet“ – sunt efecte secundare, ca pânzele de boltă de la San Marco, ale unor elemente care *au fost* într-adevăr determinate prin selecție (echivalentele biologice ale bolților şi domului). Este important să nu fim hiperadaptaționişti, fiindcă nu toate trăsăturile anatomice şi comportamentale sunt rezultatul selecției. Unele elemente ale „planului“ organismului ar putea fi, de fapt, pânze de boltă – poate că se află acolo din motive structurale, ca la San Marco, sau poate că sunt consecința limitărilor materialelor biologice sau a informației genetice restrânse din care este construit corpul. Constrângerile acestea au un rol important în determinarea formei corpului şi a părților sale. Selecția naturală poate alege doar dintre variantele posibile, care au fost deja selectate de numeroase limitări. Trebuie să avem în vedere

că unele trăsături ale corpului omenesc nu sunt adaptări, ci „pânze de boltă“. Chiar şi unele dintre caracteristicile pe care Dan Lieberman le identifica drept adaptări specifice la alergare *ar putea* fi simple „pânze de boltă“. Picioarele lungi şi dezvoltarea muşchilor posteriorului şi ai spatelui pot fi doar nişte efecte secundare ale creşterii în dimensiuni la *Homo erectus*. Pe măsură ce aflăm mai multe despre genetica dezvoltării, vom putea distinge mai bine între adaptări şi aşa-zisele pânze de boltă.

Istoria evolutivă a unui organism şi dezvoltarea embrionului vor impune deopotrivă constrângeri, astfel încât, în orice moment, evoluția are la dispoziție un număr limitat de căi de urmat; de asemenea, este foarte probabil ca animalele înrudite îndeaproape să trăiască în habitate similare. Prin urmare, nu ar trebui să ne mire exemplele de evoluție convergentă, când descoperim că o noutate evolutivă apare, complet independent, la mai multe linii genetice.

Un exemplu uluitor în acest sens este urechea mijlocie a mamiferelor (cu cele trei osicule ale ei), care se pare că a evoluat de cel puțin *patru ori*, la patru ramuri evolutive separate, dar înrudite îndeaproape. Sau, întorcându-ne la verii noştri din rândul primatelor antropoide, poate că nu e deloc surprinzător că au apărut, independent unele de altele, metode similare de deplasare la specii diferite, dar înrudite. Antropoidelor masive care mergeau pe pământ le era la îndemână să se deplaseze sprijinindu-se în mâini. Sus, în copaci, atârnau de brațe sau îşi menținеau echilibrul în poziție bipedă. Adaptările la aceste comportamente au survenit probabil în paralel, nu ca trăsătură moştenită de la un strămoş comun. Se pare că unele primate antropoide mai vechi, ca *Oreopithecus*, mergeau şi ele la sol pe două picioare, ca noi, homininii. Mersul biped nu este pesemne atât de special pe cât credeam – de fapt, se prea poate să fi apărut de mai multe ori, pe ramuri diferite, la fel ca urechea mijlocie a mamiferelor. Exigențele dezvoltării erau deja acolo, iar momentul era oportun (la mai multe specii înrudite îndeaproape, care trăiau în medii similare), aşa că nu e deloc surprinzător că soluții asemănătoare au apărut de mai multe ori.

S-ar părea că astfel de constrângeri fac evoluția foarte previzibilă, dacă existența unui set de caracteristici face probabilă apariția unor caracteristici anume. Dar există evenimente imprevizibile cu un impact enorm asupra evoluției speciilor, care însă nu au precizia şi finețea

selecției naturale. Evenimentele catastrofale care duc la extincții în masă pot şterge de pe fața pământului specii întregi, sau grupuri de specii, care până atunci au supraviețuit cu succes şi pot schimba viitorul altora. Un astfel de eveniment neprevăzut a fost catastrofa care le-a pecetluit soarta dinozaurilor. Nu contează cât de bine te-ai adaptat din punct de vedere evolutiv dacă te loveşte un meteorit; acum 66 de milioane de ani, asteroidul Chicxulub s-a izbit de peninsula mexicană Yucatán, iar de atunci înainte zilele dinozaurilor au fost numărate. Consecințele unor astfel de evenimente sunt imposibil de prevăzut, dar, ca urmare a impactului asteroidului Chicxulub, un grup restrâns de animale care au supraviețuit – mamiferele din care ne tragem – au reuşit să se diversifice şi să ocupe nişele ecologice create de impact. Dacă nu s-ar fi produs acest eveniment, este foarte puțin probabil că ar fi evoluat vreodată oamenii.

STĂPÂNI PE PROPRIUL DESTIN

Când ne uităm la alte animale, vedem poate nişte creaturi care se lasă purtate de curentul evoluției şi se adaptează la mediul în schimbare. Când ne uităm la noi, vedem însă o specie care ştie să înoate contra curentului: noi modelăm mediul ca să ni se potrivească *nouă*, nu ne lăsăm modelați de circumstanțe. Într-o oarecare măsură, acest lucru e adevărat, dar nu suntem singura specie care îşi modifică mediul, iar ceea ce facem ca să schimbăm mediul poate ajunge să ne schimbe pe noi.

Mâinile tale sunt foarte diferite de ale unui cimpanzeu. Ai degetele mai scurte, degetul mare mai lung şi mai puternic. Se poate ca forma aceasta aparte să fi apărut prin mutații genetice care au îmbunătățit anumite schimbări ce au survenit foarte rapid în anatomia mâinilor strămoşilor tăi când aceştia au început să folosească unelte de piatră. Ne putem închipui cu uşurință cum s-a schimbat (în cursul unei vieți) forma mâinii după ce omul a început să mânuiască uneltele de piatră. E de asemenea evident că uneltele au sporit şansele de supraviețuire şi reproducere ale omului, astfel încât selecția naturală a putut genera apoi schimbări genetice, evolutive.

Dar drumul de la primele modificări ale muşchilor şi oaselor la schimbările genetice care ți-au întipărit aceste modificări în genom

nu se rezumă la interacțiunea directă dintre organism şi mediu. Mai e ceva la mijloc, şi anume cultura, sau tehnologia. Mâinile noastre au fost modelate de uneltele pe care le-au făcut şi le-au folosit strămoşii noştri. Ne-am obişnuit foarte tare cu ideea că organismul nostru s-a adaptat la un mediu anume. Ne gândim la selecția naturală ca la „supraviețuirea celui mai bine adaptat". Cred că atunci când folosim cuvântul „mediu" în legătură cu evoluția, ne gândim automat la mediul natural. Ne gândim la un animal adaptat mediului, fie că e vorba de anumite tipuri de teren, de plante, poate şi de pradă sau de prădători. Dar, firește, contextul este mai larg şi cuprinde şi alte animale din aceeaşi specie. Fiecare dintre acestea poate fi concurent, aliat, dușman sau partener – sau toate la un loc, în momente diferite. Animalul nostru trebuie să se adapteze şi contextului social pentru a supraviețui şi a prospera.

Richard Dawkins a inventat termenul de „fenotip extins" pentru a reda ideea potrivit căreia animalele îşi influențează mediul într-un mod care le ajută să supraviețuiască şi să evolueze. Există, desigur, şi alte animale care acționează asupra mediului ca să-şi sporească şansele de supraviețuire: vulpile şi iepurii îşi sapă vizuini în pământ, ca să doarmă şi să se ascundă de vânători şi de prădători, ca să aibă căldură în nopțile şi iernile reci şi să-şi adăpostească puii relativ neştiutori şi neajutorați. E, bineînțeles, un avantaj pentru o vulpe sau pentru un iepure, şi pentru urmaşii lor, să-şi poată săpa o vizuină adecvată (mai exact, să aibă atât înclinația, cât şi abilitatea de-a o săpa). Păsările îşi construiesc cuiburi formidabile, care le aduc privilegii asemănătoare în lupta pentru supraviețuire. Unii cimpanzei folosesc pietre ca să spargă fructele cu coajă tare şi bețe ca să pescuiască termite din muşuroaie, ceea ce le permite accesul la o resursă de hrană altfel de neatins. Animalele care îşi sapă vizuini, îşi clădesc cuiburi sau folosesc unelte pentru a obține hrană au un avantaj în cursa pentru supraviețuire. Cel mai probabil, anatomia şi fiziologia lor au evoluat pentru a favoriza astfel de activități, iar caracteristicile care le ajută în acest sens au fost transmise din generație în generație, în timp ce trăsăturile care le puneau piedici au fost eliminate prin selecție naturală.

Aşadar, când privim prin acelaşi obiectiv propria specie, nu trebuie să ne mire că structura şi funcționarea noastră au fost influențate

de ce au făcut strămoşii noştri pentru a-şi spori şansele de supraviețuire. De fapt, fenomenul este mai evident în evoluția omului decât la oricare alt animal, fiindcă omul are un efect extrem de puternic asupra mediului în care trăieşte. Mediul ne influențează, e adevărat, dar şi noi influențăm mediul.

Forma pe care o au mâinile noastre a fost determinată de tehnologia pe care am creat-o, fiindcă aceasta a jucat un rol important în supraviețuirea şi în succesul nostru ca specie. În acelaşi fel, creierul nostru a fost şlefuit de modurile de-a gândi şi de-a acționa care s-au dovedit avantajoase pentru strămoşii noştri.

Tehnologia şi cultura fac parte din mediul în care trăim. Trăim în epoca Internetului, în care putem face schimb de idei mai repede şi pe distanțe mai mari ca niciodată – să ne închipuim numai cât de mult va influența tehnologia noastră creierul generațiilor viitoare. Creierul unui nou-născut trebuie să se dezvolte mult, iar pentru aceasta parte din conexiuni sunt eliminate şi anumite căi sunt consolidate, într-un context social şi cultural dat. Ar fi imposibil ca mintea noastră să nu fie modelată de cultură şi tehnologie – aşa e proiectată să se dezvolte. Să ne amintim aforismul lui Michael Tomasello: copilul se naşte pregătit pentru cultură aşa cum peştele se naşte pregătit pentru apă. Ne temem, pe bună dreptate, că prea mult timp petrecut în fața ecranului ne distrage de la alte activități – de la interacțiunile sociale reale, de la activitățile fizice sau de la timpul petrecut în aer liber. Ne îngrijorează mai ales efectele ecranului asupra copiilor noştri. Cred că e înțelept să fim prudenți, dar nu cred că trebuie să ne fie frică de tehnologie – face parte din mediul nostru, iar copiii noştri cresc în alt mediu decât părinții lor. Să nu uităm că lumea avea aceleaşi temeri legat de cărți, când s-au răspândit metodele de imprimare şi publicare. Din fericire, mulțumită adaptabilității creierului uman, copiii noştri vor acumula cunoştințe, abilități şi perspective noi, noi moduri de a gândi, care le vor permite să se adapteze la un alt mediu cultural. De asemenea, nici creierul adult nu e „bătut în cuie“, fiindcă neuroplasticitatea, inclusiv capacitatea de a crea legături noi, este o trăsătură care persistă toată viața.

UNICITATEA OMULUI

Discuția despre creier ne aduce la trăsătura pe care o considerăm specifică omului. Nu încape îndoială că ne place să ne credem speciali, dar ce înseamnă acest lucru mai exact? În sens larg, *Homo sapiens* este o specie unică; îmbină în mod unic mersul biped, mâinile foarte abile şi creierul foarte dezvoltat. Dar oare nu e fiecare specie unică în felul ei?

La o analiză mai atentă, multe ipoteze care susțineau că o trăsătură sau alta a omului este unică s-au dovedit a fi greşite sau cel puțin inexacte. Ipoteza dilemei obstetrice sugerează că bazinul femeii a fost obiectul unei competiții între solicitările impuse de mersul biped şi cele impuse de naşterea unui copil cu creierul mare. Ipoteza țesutului „scump“ susține că oamenii au intestine mai scurte decât orice altă primată antropoidă, lucru care nu e tocmai adevărat. Nici măcar mersul biped pe sol nu aparține exclusiv crenguței noastre hominine din arborele vieții – *Oreopithecus* se deplasa astfel cu mult înainte să apară homininii.

Multe dintre trăsăturile considerate odinioară specific umane marchează mai degrabă o diferență cantitativă decât calitativă. Şi alte primate antropoide vii se deplasează ocazional pe două picioare, numai că noi mergem astfel în mod obişnuit. Primatele au creierul mare în comparație cu alte mamifere, dar noi am excelat la acest capitol. Diferențele acestea cantitative au sens, bineînțeles, dacă ne gândim că organismul uman *a evoluat*. Corpul nostru nu este o creație nouă, nu a apărut din neant, aşa cum nu au apărut din neant nici componentele sale anatomice. Cum mintea noastră diferă calitativ față de cea a rudelor noastre celor mai apropiate care încă există, se impune întrebarea: când s-a produs această schimbare? Este de presupus că mintea umană, aşa cum o cunoaştem noi, a apărut treptat. La fel cum întregul „pachet uman“, inclusiv mersul biped, talia lungă şi flexibilă, umerii lăsați, creierul dezvoltat etc., nu a apărut peste noapte, ci treptat, ca într-un mozaic, nici mintea strămoşilor noştri nu a fost de la început ceea ce numim azi conştiință omenească.

În biologia modernă, ideii progresiei liniare, care a început de la animale „inferioare“ şi a evoluat către organisme „superioare“, i-a luat locul conceptul unui arbore al vieții cu ramuri bogate. Dar imaginea unei *scala naturae* ideale, al cărei summum e omul, este foarte

tenace. Mai ales pentru că avem într-adevăr un impact extrem de puternic asupra lumii din jur, este foarte tentant să credem că suntem, cumva, apogeul evoluției. La începutul secolului XX, biologii evoluționişti aparţineau încă acestei şcoli, descriind evoluția umană ca pe o continuare firească a tendințelor din evoluția primatelor, ca pe un pas inevitabil către progres. Dar în anii 1950 descoperirile fosile au început să dezvăluie o altă istorie, în care schimbările imprevizibile din mediu au intervenit decisiv în destinul speciilor. Astfel, contingența şi întâmplarea au început să fie considerate parte din evoluția umană.

În a doua jumătate a secolului XX, pe măsură ce au fost descoperite tot mai multe fosile de hominini, iar la arborele nostru genealogic recent s-au adăugat mai multe specii, a devenit clar că trăsăturile noastre distinctive nu au apărut deodată. Mersul biped a apărut cu milioane de ani înainte să se dezvolte creierul la dimensiunile actuale. Dar experții din domeniul evoluției umane căutau în continuare un *moment* definitoriu pentru originea umanității, acel punct de cotitură care i-ar fi îndreptat pe strămoşii noştri într-o direcție cu totul nouă. În anii 1960, s-a propus ideea că schimbarea aceasta ar fi fost reprezentată de vânătoare şi de consumul de carne. A intrat astfel în joc, mândru, „omul vânător“: comportamentul de prădător a fost schimbarea decisivă care ne-a făcut ceea ce suntem în prezent. În ziua de azi, asemenea idei par perimate, un fel de goană după Sfântul Graal. Dacă drumul spre iad este pavat cu bune intenții, drumul spre umanitate este pavat cu schimbări numeroase şi, uneori, foarte subtile de comportament, fiziologie, anatomie – şi conştiință. Ar fi absurd să căutăm *un singur* lucru care să îndrume un grup de animale într-o nouă direcție evolutivă. În primul rând, „direcția“ aceasta nu se vede decât în retrospectivă. Putem identifica inovații-cheie, dar nu vom găsi *o singură* schimbare care să explice majoritatea diferențelor dintre noi şi cele mai apropiate rude ale noastre.

Ca orice altă specie, *Homo sapiens* reprezintă o variațiune pe o temă, în calitatea lui de animal, de vertebrată, de mamifer şi de primată antropoidă. Mai sunt însă multe alte specii care au trăsături distinctive, caracteristici unice şi neobişnuite care le scot în evidență. Masculii păuni au coada aceea superbă. Oamenii se pot mândri cu un creier incredibil de mare şi cu modul în care îl folosesc. Multe

dintre funcțiile organismului nostru, şi anatomia care le susține – de la procesul digestiv la modul în care inima pompează sângele şi la felul în care ochii noştri percep diferitele lungimi de undă ale luminii –, seamănă în foarte mare măsură cu funcțiile pe care le observăm la alte primate antropoide şi chiar la alte mamifere în general. Dar creierul nostru este *atât* de mare, iar cunoştințele, gândurile şi sentimentele noastre sunt atât de bogate, încât putem fi siguri că în privința aceasta ne deosebim cu mult de orice alt animal. Nimeni n-ar putea spune că mintea noastră nu e unică, nu-i aşa?

Din câte ştim, modul nostru de cogniție chiar *este* unic în rândul animalelor vii; cu toate acestea, deşi pare cert că ființa umană în totalitatea ei este unică, dacă analizăm diverse aspecte ale psihologiei noastre, vom descoperi că deosebirile dintre mintea noastră şi mintea altor animale țin, de fapt, de cantitate. Nu e vorba aici de distincții fundamentale, absolute în raport cu alte ființe. Chiar şi cimpanzeii par să aibă o oarecare teorie a minții, şi ei conştientizează într-un anume grad faptul că şi alți indivizi posedă o minte care are gânduri, dorințe şi aspirații.

Teoria minții are desigur o altă profunzime la om decât la cimpanzeu. Dar asta înseamnă că, din nou, avem de-a face cu o diferență cantitativă, nu de esență. Nu suntem atât de diferiți, atât de „unici“ pe cât credeam – idee greu de acceptat chiar şi astăzi, după ce a fost unul dintre principalele motive pentru care mulți au considerat (şi, în unele locuri aflate încă în obscuritate, încă mai consideră) inacceptabile descrierea şi explicația date de Darwin evoluției. Nu suntem o creație unică, aparte față de restul naturii, oricât ne-ar plăcea nouă să credem asta.

În 1860, Thomas Henry Huxley, „buldogul“ lui Darwin, a participat la o dezbatere spontană pe tema evoluției împotriva adversarului său, arhiepiscopul Samuel Wilberforce, la Muzeul de Istorie Naturală al Oxford University. În timpul discuției, Wilberforce l-a întrebat pe Huxley pe care latură a familiei se trăgea dintr-o maimuță – pe partea bunicii, sau a bunicului? Descrierile cu privire la ce s-a întâmplat în continuare variază, dar conform uneia dintre versiuni Huxley a murmurat: „Dumnezeu îl dă în mâinile mele“[1], după care s-a

1. 1 Samuel 23,7 (n. tr.).

ridicat în picioare ca să dea replica finală: „Prefer să mă trag din maimuțe decât să fiu bărbat şi să-mi fie frică de adevăr“.

Nu cumva ne e jenă chiar şi astăzi să ne considerăm primate antropoide, mamifere, vertebrate? Pentru că asta suntem. La 134 de ani după duelul lui Huxley cu Wilberforce de la Oxford, bioantropologul Matt Cartmill spunea următoarele: „Să încercăm să arătăm că toate trăsăturile omeneşti sunt prefigurate de sau au un corespondent în viețile şi adaptările celorlalte animale […] înseamnă, în esență, să ne îndoim de realitatea graniței morale care desparte omul de fiare. Întrebarea este dacă ne temem să ştergem această graniță sau dacă acceptăm bucuroşi că ea nu există de fapt.“

LOCUL NOSTRU ÎN ARBORELE VIEȚII

Suntem nişte primate antropoide care s-au descurcat foarte bine, nu neg asta. Este extraordinar că o specie de hominizi a avut un asemenea succes. Suntem creatori de artă, de muzică, de literatură şi avem o tehnologie care ne sporeşte şansele de a supraviețui şi a ne reproduce, precum şi longevitatea.

Dar aşa cum nu vom trăi la nesfârşit ca indivizi (oricât de greu ne-ar fi să acceptăm acest lucru), nici specia noastră nu va exista veşnic. Poate am încetinit puțin evoluția, poate am tocit puțin coasa Secerătoarei pe care o cunoaştem sub numele de selecție naturală, cel puțin în țările dezvoltate; dar chiar şi în astfel de locuri privilegiate, în care nou-născuții au şanse foarte mari să ajungă la maturitate, există totuşi diferențe în numărul de copii al fiecărui cuplu, ceea ce va duce la modificarea frecvenței genelor în populația respectivă. Schimbarea se va produce lent, dar este tot o formă de evoluție.

E posibil să nu se producă în noi nici o schimbare importantă, cel puțin din punct de vedere anatomic, cât timp ne aflăm în poziția aceasta privilegiată în care putem controla şi menține stabilitatea mediului în care trăim. S-ar putea să devenim fosile vii, precum crabii-potcoavă şi celacantul, în timp ce în jurul nostru alte specii vor prospera sau vor pieri. Avem acum şanse foarte mari de a supraviețui cataclismelor locale, întrucât ne-am risipit pe tot globul, în număr mare. În ultimă instanță însă, este de presupus că o schimbare catastrofală a mediului, de care am putea fi vinovați chiar noi, va

schimba drastic regulile jocului. (Să ne amintim de dinozauri şi de asteroidul Chicxulub.) E posibil ca până atunci specia noastră să fi dispărut deja sau să fi fost redusă la câteva populaţii puţin numeroase, care să supravieţuiască în zone încă locuibile. În refugiile acestea, selecţia naturală şi-ar ascuţi coasa şi s-ar pune pe treabă, iar efectele fluctuaţiei genetice ar putea fi şi ele profunde. În asemenea împrejurări, viitorul omenirii ar putea arăta cu totul altfel decât acum.

N-am de gând să-mi lustruiesc globul de cristal ca să prezic viitorul speciei noastre – evoluţia şi galaxia sunt prea imprevizibile –, dar voi face câteva estimări cu privire la modul în care nu ne vom schimba în viitorul apropiat: nu ne vor creşte alte degete funcţionale nici la mâini, nici la picioare; tiparul pentadactil este prea adânc întipărit în genomul nostru ca să permită o astfel de mutaţie. Nu ne vor creşte aripi, şi nici picioare în plus, din acelaşi motiv. Atâta timp cât mai avem mijloace tehnologice de a ne încălzi în zonele reci (adăposturi, haine, foc), nu ne va creşte din nou blană – doar dacă nu devine, din motive nebănuite, foarte atrăgătoare pentru sexul opus.

Este la fel de greu să ştim ce ne rezervă destinul nostru evolutiv cum ar fi fost să ştim acum 66 de milioane de ani că unele dintre mamiferele care se ascundeau de dinozauri aveau să evolueze ca maimuţe şi că unele dintre ele aveau să devină primate antropoide care să meargă în mod regulat pe două picioare la sol – fiind, în acelaşi timp, foarte îndemânatice şi foarte inteligente. Nu cred că întâmplarea şi contingenţa specifice evoluţiei (încă prezente, deşi limitate de exigenţele dezvoltării) ar trebui să ne dea sentimentul că suntem neputincioşi sau lipsiţi de importanţă. Personal, mi se pare o mare şansă faptul că exist. Să ne gândim o clipă cât de uşor ar fi fost să *nu* se întâmple acest lucru.

În istoria evolutivă a speciei noastre sunt nenumărate momente în care împrejurările ar fi putut să ia o altă turnură, în care ascendenţa pe care-o putem urmări în arborele vieţii s-ar fi putut opri, în loc să continue până la ceea ce este acum o ramură de la periferie. Şansele ca un individ oarecare să ajungă pe lume sunt infinitezimale. Pentru ca *tu* să fii conceput a fost nevoie ca un spermatozoid *anume*, din alte milioane de spermatozoizi, să ajungă la ovulul eliberat de unul din ovarele mamei tale în luna cu pricina. Se putea foarte uşor ca lucrurile să fi stat altfel.

E o mare şansă că suntem în viață, dar şi o mare responsabilitate. Avem capacitatea cognitivă de a empatiza cu ceilalți, de a le intui scopurile şi intențiile. Putem înțelege şi comunica idei abstracte. Suntem conştienți şi de impactul propriilor acțiuni, nu doar în mod individual şi direct, ci şi colectiv şi global, grație imboldului de a investiga pe care-l numim ştiință.

Studiind evoluția şi embriologia, aflăm mai multe despre locul pe care-l ocupăm în lume. Înțelegem mai bine că facem parte din povestea vieții, că suntem legați de alte specii, din trecut şi din prezent, într-un mod foarte real. După momentul fericit al concepției, a început epigeneza ființei tale: a apărut o formă acolo unde înainte nu exista nici una, dirijată de un cod scris într-o limbă străveche, care a generat ecouri trecătoare ale unor vieți trecute şi ale unor veri îndepărtați pe măsură ce te-ai dezvoltat. Faci parte nu dintr-un lung lanț al vieții – o *scala naturae* –, ci dintr-un *arbor naturae*, uriaş şi foarte ramificat: arborele vieții.

Pentru că suntem nişte animale aparte, pentru că suntem conştienți de impactul pe care-l avem asupra celorlalți, avem o obligație nu doar față de alți oameni, ci şi față de alte specii. Dacă acceptăm că suntem parte din lumea naturală şi nu ne situăm undeva în afara ei, atunci ne vom asuma răspunderea aceasta şi vom înainta către un viitor durabil pentru noi şi pentru toate celelalte viețuitoare de pe planetă.

MULȚUMIRI
ȘI
LECTURI RECOMANDATE

MULȚUMIRI

Mi-am dorit ani de zile să scriu o carte despre embriologie şi evoluție, iar Susan şi Jon Watt de la Heron Books au avut amabilitatea să mă lase să-i inund cu poveşti despre dezvoltare, strămoşi comuni şi arbori genealogici – iar apoi au avut curajul să-mi şi publice cartea! Le sunt enorm de recunoscătoare amândurora pentru încurajări şi pentru entuziasmul pe care l-au arătat față de un subiect pe care unii l-ar fi considerat de nişă.

Multe idei din carte mi-au venit în urma unor întâlniri cu colegii, adesea în timp ce filmam pentru televiziune. Le sunt foarte recunoscătoare producătorilor şi echipelor de producție ale diverselor programe care mi-au dat ocazia să-mi urmez pasiunea pentru biologia evolutivă şi pentru fizioantropologie şi să fac cunoştință, în timpul filmărilor, cu cercetători care m-au inspirat să împărtăşesc domeniul acesta ştiințific fascinant cu publicul larg. Aş vrea să mulțumesc mai ales echipei de producție a serialului *Origins of Us* (BBC Two, 2011), anume lui: Mags Lightbody şi Davina Bristow (asistenți producători); lui Dave Stewart, Matt Dyas şi Paul Olding (producători/regizori); lui Zoe Heron (producătoarea seriei); lui Sacha Baveystock (producător executiv); producătoarei executive a serialului *Prehistoric Autopsy* (BBC Two, 2012), Jane Aldous; şi echipei de producție a documentarului *Horizon: What Makes Us Human?*, printre care Chris Pitt (cercetător), Toby Macdonald (producător/regizor) şi Aidan Laverty (redactor). Multe mulțumiri şi lui Kim Shillinglaw, redactor la Departamentul de ştiință şi istorie naturală al BBC.

Vreau să le mulțumesc tuturor celor care mi-au împărtăşit cu generozitate studiile şi ideile lor; unii colegi sunt menționați în text, dintre care: Jeff Lichtman, de la Harvard University; Geoff Bird, de la Birkbeck College; Denis Duboule, de la Geneva University; Anna Barbey, de la Southampton University, şi Sandra Martelli, de la University College din Londra; Roy Cockel, de la Selly Oak Hospital; Holly Dunsworth, de la Rhode Island University; Herman Pontzer, de la City University of New York; Anna Warrener, de la Harvard University. Mai sunt şi alți colegi care mi-au împărtăşit cunoştințele lor despre biologie, anatomie, evoluție şi epigenetică, în conversații şi prin corespondență, cărora le sunt extrem de recunoscătoare – printre ei se numără Leslie Aiello, de la Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research; Sir Patrick Bateson

şi David Chivers, de la Cambridge University; Jeremy Pritchard, Susannah Thorpe şi Bryan Turner, de la Birmingham University. Ca studentă la medicină, am avut norocul să învăț de la profesori de anatomie şi embriologie extraordinari, printre care Edward Evans, Bernard Moxham şi Richard Newell. Dar îi sunt îndatorată îndeosebi lui Bob Presley, anatomistul care mi-a coordonat teza de licență şi care mi-a făcut cunoştință cu lumea anatomiei şi a embriologiei comparate.

Mai mulți colegi au avut amabilitatea să citească primele ciorne ale cărții şi le sunt enorm de recunoscătoare pentru sfaturile, sugestiile şi corecturile lor de o valoare inestimabilă. Printre oamenii aceştia generoşi se numără: Robin Crompton, Holly Dunsworth, Colin Groves, Desmond Morris, Mark Pallen, Chris Stringer şi Paolo Viscardi. Îi mulțumesc şi lui Jon Watt, editorul meu, pentru perspicacitate şi pentru că m-a ajutat să găsesc şi să dezvolt firul narativ al cărții. Mulțumiri şi redactorului meu, Helena Caldon, care a netezit numeroasele cute ale manuscrisului.

În sfârşit, dar nu în ultimul rând, n-aş fi putut să scriu cartea de față şi să am în acelaşi timp grijă de un nou-născut şi de un copil de trei ani fără sprijinul incredibil al soțului meu. Mulțumesc, Dave.

LECTURI RECOMANDATE

Iată câteva cărți și resurse online excelente pentru cei care vor să aprofundeze temele generale ale embriologiei și ale evoluției, dar și să cunoască istoria acestor domenii științifice.

Cărți:

Cobb, M., *The egg and sperm race: the seventeenth-century scientists who unravelled the secrets of sex, life and growth*, Pocket Books, London, New York, 2007.

Correia, C.P., *The Ovary of Eve: egg and sperm and preformation*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.

Gould, S.J., *Ontogeny and Phylogeny*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1977.

Kent, G.C. & Carr, R.K., *Comparative anatomy of the vertebrates*, McGraw Hill, Boston, 2001.

Lieberman, D., *The evolution of the human head*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2011.

Sadler, T.W., *Langman's Medical Embryology*, Lippincott, Williams and Wilkins, Philadelphia, 2012.

Shubin, N., *Your Inner Fish: a Journey Into the 3.5-billion-year History of the Human Body*, Pantheon Books, New York, 2008.

Wolpert, L., *The Triumph of the Embryo*, Dover Publications, Mineolla, New York, 2008.

Resurse online și aplicații mobile:

Un curs de embriologie online creat de Universitățile din Fribourg și Lausanne & Berna (Elveția), disponibil în franceză, germană, engleză și neerlandeză: www.embryology.ch

The Embryo Project Encyclopaedia, de la Arizona State University, este o colecție online de „obiecte găsite", articole și eseuri despre embriologie și istoria sa: www.emo.asu.edu

Un ghid superb despre dezvoltarea embrionului şi schimbările produse în timpul sarcinii: lifeinthewombapp.com

ÎNCEPUTURI

Scurt istoric al ideilor

Cobb, M., „An amazing 10 years: the discovery of egg and sperm in the 17th century", în *Reproduction in Domestic Animals*, nr. 47, pp. 2–6, 2012.

Gould, S.J., *Ontogeny and Phylogeny*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1977.

Începuturile tale

Nu rataţi acest formidabil ghid vizual al sarcinii: lifeinthewombapp.com

CAPETE ŞI CREIERE

Primul cap

Despre simplificarea ascidiilor:

Holland, N.D. & Chen, J., „Origin and early evolution of the vertebrates: new insights from advances in molecular biology, anatomy and palaeontology", în *BioEssays*, nr. 23, pp. 142–151, 2001.

Despre descoperirea fosilei *Haikouella*:

Chen, J.–Y., Huang, D.–Y., Li, C.–W., „An early Cambrian craniate-like chordate", în *Nature*, nr. 402, pp. 518–522, 1999.

Richard Dawkins discută legătura noastră cu stelele-de-mare şi locul nostru în marele arbore al vieţii în cartea lui *The Ancestor's Tale*, 2004.

Pentru mai multe informaţii despre viermii-ghindă şi originea cordatelor:

Brown, F.D., Prendergast, A., Swalla, B.J., „Man is but a worm: chordate origins", în *Genesis*, nr. 46, pp. 605–613, 2008.

Gerhart, J., Lowe, C., Kirschner, M., „Hemichordates and the origin of chordates", în *Current Opinion in Genetics & Development*, nr. 15, pp. 461–467, 2005.

Lacalli, T.C., „The emergence of the chordate body plan: some puzzles and problems", în *Acta Zoologica* (Stockholm), nr. 91, pp. 4–10, 2010.

Puteţi vedea pe YouTube filmul BBC *Life*, despre stelele-de-mare: www.youtube.com/watch?v=kGMCaTwkKrc

Creiere preistorice şi creiere embrionare

Pentru mai multe informaţii despre neurulaţie şi ariciul sonic, încercaţi The Embryo Project Encyclopaedia: www.emo.asu.edu

Pentru mai multe informații despre creierul diverselor animale:
Kent, G.C. & Carr, R.K., *Comparative Anatomy of the Vertebrates*, McGraw Hill, Boston, 2001.

Cartografierea creierului uman

Pentru mai multe informații despre cum funcționează creierul şi despre anatomia capului şi a gâtului în general:
Lieberman, D., *The Evolution of the Human Head*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2011.
Pentru mai multe informații despre povestea extraordinară a lui Phineas Gage şi despre accidentul său:
Ratiu, P. *et al.*, „The tale of Phineas Gage, versiune digitală revizuită", în *Journal of Neurotrauma*, nr. 21, pp. 637–643, 2004.
Despre conexiunile din creierul uman:
Drachman, D.A., „Do we have brain to spare?", în *Neurology*, nr. 64, pp. 2004–2005, 2005.
Pentru mai multe informații despre fenomenul „Brainbow":
Livet, J. *et al.*, „Transgenic strategies for combinatorial expression of fluorescent proteins in the nervous system", în *Nature*, nr. 450, pp. 56–63, 2007.
Pentru mai multe informații despre scanarea cerebrală:
Raichle, M.E., „A brief history of human brain mapping", în *Trends in Neurosciences*, nr. 32, pp. 118–126, 2008.
Pentru mai multe informații despre neuronii-oglindă:
Catmur, C. *et al.*, „Through the looking glass: counter-mirror activation following incompatible sensorimotor learning", în *European Journal of Neuroscience*, nr. 28, pp. 1208–1215, 2008.
Heyes, C., „Where do mirror neurons come from?", în *Neuroscience and Biobehavioural Reviews*, nr. 34, pp. 575–583, 2010.
Ramachandran, V.S., „Mirror neurons and imitation learning as the driving force behind 'the great leap forward' in human evolution", pe www.edge.org, 2011.
Ramachandran, V.S., *The Tell-Tale Brain: Unlocking the Mystery of Human Nature*, Windmill Books, London, 2011, capitolul 4: „The neurons that shaped civilization".

Uriaşul creier uman

Pentru o discuție excelentă despre inteligența emoțională şi evoluția umană:
Lieberman, D., *The Evolution of the Human Head*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2011.

Despre cortexul vizual al cimpanzeilor:

Holloway, R.L., Broadfield, D.C., Yuan, M.S., „Morphology and histology of chimpanzee primary visual striate cortex indicate that brain reorganization predated brain expansion in early hominid evolution", în *The Anatomical Record*, nr. 273A, pp. 594–602, 2003.

Wood, J.N. & Grafman, J., „Human prefrontal cortex: processing and representational perspectives", în *Nature Review Neuroscience*, nr. 4, pp. 139–147, 2003.

Despre istoria cercetărilor asupra psihologiei cimpanzeilor:

Call, J. & Tomasello, M., „Does the chimpanzee have a theory of mind? 30 years later", în *Trends in Cognitive Science*, nr. 12, pp. 187–192, 2008.

Despre efectul pe care îl are creşterea în dimensiuni a creierului omenesc asupra formei craniului:

Lieberman, D.E., Pearson, O.M., Mowbray, K.M., „Basicranial influence on overall cranial shape", în *Journal of Human Evolution*, nr. 38, pp. 291–315, 2003.

Pentru mai multe informații despre cum a evoluat forma craniului omenesc modern:

Lieberman, D.E., McBrateney, B.M., Krovitz, G., „The evolution and development of cranial form in *Homo sapiens*", în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nr. 99, pp. 1134–1139, 2002.

CRANII ŞI SIMȚURI

Creasta neurală şi originea craniului

Despre căutarea originilor evolutive ale structurilor noi şi despre observația că „structurile morfologice […] nu apar pur şi simplu din țărână":

Braun, C.B. & Northcutt, R.G., „The lateral line system of hagfishes", în *Acta Zoologica* (Stockholm), nr. 78, pp. 247–268, 1997.

Despre duplicarea genelor şi funcțiile noi ale genelor de-a lungul evoluției:

Holland, L.Z., Laudet, V., Schubert, M., „The chordate amphioxus: an emerging model organism for developmental biology", în *Cellular and Molecular Life Sciences*, nr. 61, pp. 2290–2308, 2004.

Despre celulele din-creasta-neurală-şi-nu-tocmai ale amfiocşilor:

Shimeld, S.M., Holland, N.D., „Amphioxus molecular biology: insights into vertebrate evolution and developmental mechanisms", în *Canadian Journal of Zoology*, nr. 83, pp. 90–100, 2005.

Despre Julia Platt şi descoperirea ei că celulele din creasta neurală contribuie la dezvoltarea craniului:

Landacre, F.L., „The fate of the neural crest in the head of the urodeles", în *The Journal of Comparative Neurology*, nr. 33, pp. 1–43, 1921.

Zottoli, S.J. & Seyfarth, E.-A., „Julia B. Platt (1857–1935): Pioneer comparative embryologist and neuroscientist“, în *Brain, behaviour and evolution*, nr. 43, pp. 92–106, 1994.

Cum se formează un craniu

Charles Darwin a scris despre „legea asemănării embrionare“ în *Originea Speciilor*, apărută în 1859. Cartea merită citită. Avem la dispoziție şi o resursă online excelentă: darwin-online.org.uk

Forme de cranii

Despre deformarea craniului:

Ayer, A. *et al.*, „The sociopolitical history and physiological underpinnings of skull deformation“, în *Neurosurgical Focus*, nr. 29, pp. 1–6, 2010.

Tubbs, R.S., Salter, E.G., Oakes, W.J., Artificial Deformation of the Human Skull, *Clinical Anatomy*, nr. 19, pp. 372–377, 2006.

Despre craniul juvenil deformat cunoscut sub numele de „Starchild“:

Novella, S., „The Starchild Project“, în *The New England Sceptical Society*, www.theness.com/index.php/the-starchild-project.

Mirosul

Studiul care descrie neconştientizarea pierderii mirosului după o traumă cerebrală:

Callahan, C.D. & Hinkebein, J.H., „Assessment of anosmia after traumatic brain injury“, în *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, nr. 17, pp. 251–256, 2002.

Despre genele mirosului la chişcarii de mare:

Libants, S. *et al.*, „The sea lamprey *Petromyzon marinus* genome reveals the early origin of several chemosensory receptor families in the vertebrate lineage“, în *BMC Evolutionary Biology*, nr. 9, p. 180, 2002.

Despre ipoteza care leagă pierderea genelor mirosului de dezvoltarea vederii cromatice la primate:

Gilad, Y., „Loss of olfactory receptor genes coincides with the acquisition of full trichromatic vision in primates“, în *PLoS Biology*, nr. 2, pp. 120–125, 2004.

Matsui, A., Go, Y., Niimura, Y., „Degeneration of olfactory receptor gene repertoires in primates: no direct link to full trichromatic vision“, în *Molecular Biology & Evolution*, nr. 27, pp. 1192–1200, 2010.

Văzul

Pentru mai multe informații despre evoluția ochiului:

Lamb, T.D., Collin, S.P., Pugh, E.N., „Evolution of the vertebrate eye: opsins, photoreceptors, retina and eye cup“, în *Nature Reviews: Neuroscience*, nr. 8, pp. 960–975, 2007.

Studiul care analizează genele exprimate în ochiul chişcarului aflat în creştere:

Vopalensky, P. *et al.*, „Molecular analysis of the amphioxus frontal eye unravels the evolutionary origin of the retina and pigment cells of the vertebrate eye“, în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nr. 109, pp. 15383–15388, 2012.

Despre vederea în culori şi fotoreceptori la vertebrate:

Bowmaker, J.K., „Evolution of colour vision in vertebrates“, în *Eye*, nr. 12, pp. 541–547, 1998.

Despre vederea în culori la primate şi despre posteriorul roşu:

Surridge, A.K., Osorio, D., Mundy, N.I., „Evolution and selection of trichromatic vision in primates“, în *Trends in Ecology and Evolution*, nr. 18, pp. 198–205, 2003.

Despre alimentația primatelor timpurii (şi despre o perspectivă nouă asupra evoluției umane):

Cartmill, M., „Primate origins, human origins, and the end of higher taxa“, în *Evolutionary Anthropology*, nr. 21, pp. 208–220, 2012.

Despre cum urmăresc gorilele direcția privirii:

Mayhew, J.A., „Attention cues in apes and their role in social play behaviour of Western Lowland Gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)“; teză doctorală în cadrul University of St Andrews, 2013.

Despre cum urmăresc copiii direcția privirii şi despre experimentul cu paharele de plastic, care testa capacitatea copiilor de a detecta înşelătoria:

Freire, A., Eskritt, M., Lee, K., „Are eyes windows to a deceiver's soul? Children's use of another's eye gaze cues in a deceptive situation“, în *Developmental Psychology*, nr. 6, pp. 1093–1104, 2004.

Studiul care compară atenția față de direcția privirii la copii şi la puii altor primate mari:

Tomasello, M. *et al.*, „Reliance of head versus eyes in the gaze following of great apes and human infants: the cooperative eye hypothesis“, în *Journal of Human Evolution*, nr. 52, pp. 314–320, 2007.

VORBIREA ŞI BRANHIILE

Un os în formă de U şi un cartilaj în formă de fluture

Despre descoperirea omului de Neanderthal de la Kebara:

Bar-Yosef, O. *et al.*, „The excavations in Kebara Cave, Mt Carmel“, în *Current Anthropology*, nr. 33, pp. 497–550, 1992.

Despre ipoteza conform căreia limba omului este mai bogat inervată decât cea a altor primate antropoide, iar mărimea canalului hipoglosului ar fi un indiciu util:

DeGusta, D., Gilbert, W.H., Turner, S.P., „Hypoglossal canal size and hominid speech", în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nr. 96, pp. 1800–1804, 1999.

Kay, R.F., Cartmill, M., Balow, M., „The hypoglossal canal and the origin of human vocal behaviour", în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nr. 95, pp. 5417–5419, 1998.

Despre oasele hioide de la situl Sima de los Huesos:

Martinez, I. *et al.*, „Human hyoid bones from the middle Pleistocene site of the Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain)", în *Journal of Human Evolution*, nr. 54, pp. 118–124, 2007.

Despre cum articula sunetele omul de Neanderthal:

Boe, L.-J. *et al.*, „The potential Neanderthal vowel space was as large as that of modern humans", *Journal of Phonetics*, nr. 30, pp. 465–484, 2002.

Mituri laringiene

Despre faptul că animalele care au laringele plasat mai jos nu sunt mai predispuse la înec:

Aiello, L., „Fossil and other evidence for the origin of language", în cadrul *Evolution of Language 4th International Conference*, de la Harvard University.

Despre poziția laringelui:

Lieberman, D., *The Evolution of the Human Head*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2011.

Lieberman, D.E. *et al.*, „Ontogeny of postnatal hyoid and larynx descent in humans", în *Archives of Oral Biology*, nr. 46, pp. 117–128, 2001.

Despre cum bărbații şi femeile articulează vocalele diferit:

De Boer, B., „Investigating the acoustic effect of the descended larynx with articulatory models", în *Journal of Phonetics*, nr. 38, pp. 679–686, 2010.

Despre alte animale cu laringele plasat jos:

Fitch, W.T. & Reby, D., „The descended larynx is not uniquely human", în *Proceedings of the Royal Society of London B*, nr. 268, pp. 1669–1675, 2001.

Masculi cu voci profunde

Despre boncăluitul cerbilor:

Clutton-Brock, T.H. & Albon, S.D., „The roaring of red deer and the evolution of honest advertisement", în *Behaviour*, nr. 69, pp. 145–170, 2010.

Despre efectul bărbaților cu vocea joasă asupra femeilor:

Smith, D.S. *et al.*, „A modulatory effect of male voice pitch on long-term memory in women: evidence of adaptation for mate choice?“, în *Memory & Cognition*, nr. 40, pp. 135–144, 2012.

Jocul întâlnirilor romantice la Pittsburgh University:

Puts, D.A., Gaulin, S.J.C., Verdolini, K., „Dominance and the evolution of sexual dimorphism in human voice pitch“, în *Evolution and Human Behavior*, nr. 27, pp. 283–296, 2006.

Articulații mandibulare şi osicule

Despre a doua articulație mandibulară la Morganucodon:

Kermack, K.A., Mussett, F., Rigney, H.W., „The lower jaw of *Morganucodon*“, în *Zoological Journal of the Linnean Society*, nr. 53, pp. 87–175, 1973.

Originile branhiale ale muşchilor faciali şi ale muşchilor urechii:

Diogo, R., „Comparative anatomy, homologies and evolution of the mandibular, hyoid and hypobranchial muscles of bony fish and tetrapods: a new insight“, în *Animal Biology*, nr. 58, pp. 123–172, 2008.

Takechi, M. & Kuratani, S., „History of studies on mammalian middle ear evolution: a comparative morphological and developmental biology perspective“, în *Journal of Experimental Zoology B*, nr. 314, pp. 1–17, 2010.

Von Baer şi genetica

Citatul despre arcurile faringiene sau branhiale este luat din unul dintre cele mai populare manuale universitare de embriologie:

Sadler, T.W., *Langman's Medical Embryology*, Lippincott, Williams and Wilkins, Philapelphia, 2012.

COLOANE VERTEBRALE ŞI SEGMENTE

Musculițele de oțet şi originea coloanei vertebrale

Pentru mai multe informații despre Thomas Hunt Morgan şi studiile pentru care i s-a acordat Premiul Nobel, accesați: NobelPrize.org

Despre genele *Hox*:

Myers, P.Z., „*Hox* genes in development: the *Hox* code“, Scitable, Nature Education, 2008.

Pearson, J.C., Lemons, D., McGinnis, „Modulating *Hox* gene functions during animal body patterning“, în *Nature Review Genetics*, nr. 6, pp. 893–904, 2005.

Despre strămoşul pe care îl avem în comun cu musculița de oțet:

Danchin, E.G., Pontarotti, P., „Statistical evidence for a more than 800-million-year-old evolutionarily conserved genomic region in our genome“, în *Journal of Molecular Biology and Evolution*, nr. 59, pp. 587–597, 2004.

Despre genele *Hox* la om:

Holland, P.W.H., Booth, H.A.F., Bruford, E.A., „Classification and nomenclature of all human homeobox genes“, în *BMC Biology*, nr. 5, p. 47, 2007.

Mai multe informații despre Denis Duboule:

Richardson, M.K., „The *Hox* complex: an interview with Denis Duboule“, în *International Journal of Developmental Biology*, nr. 53, pp. 717–723, 2009.

Dezvoltarea vertebrelor în embrion

Pentru mai multe informații despre *spina bifida*, consultați NHS National Genetics and Genomics Education Centre > Genetics Conditions >Neural tube defects www.geneticseducation.nhs.uk? genetic-conditions-54/688-neural-tube-defects-new.

Rolul genelor *Hox* în dezvoltarea coloanei vertebrale:

Carapuco, M. *et al.*, „*Hox* genes specify vertebral types in the presomitic mesoderm“, în *Genes and Development*, nr. 19, pp. 2116–2121, 2005.

Discuri deplasate și fațete defectuoase

Despre cum se pierd celulele din notocord din discurile intervertebrale:

Hunter, C.J., Matyas, J.R., Duncan, N.A., „The notochordal cell in the nucleus pulposus: a review in the context of tissue engineering“, în *Tissue Engineering*, nr. 9, pp. 667–677, 2003.

Despre durerile lombare:

Cohen, S.P. & Raja, S.N., „Pathogenesis, diagnosis, and treatment of lumbar zygapophysial (facet) joint pain“, în *Anesthesiology*, nr. 106, pp. 591–614, 2007.

Manchikanti, L. *et al.*, „Prevalence of facet joint pain in chronic spinal pain of cervical, thoracic and lumbar regions“, în *BMC Musculoskeletal Disorders*, nr. 5, p. 15, 2004.

Secțiuni lombare lungi

Despre evoluția maimuțelor și despre coloanele vertebrale lungi și flexibile ale speciilor vechi:

Harrison, T., „Catarrhine Origins“, în Begun, D.R. (ed.), *A Companion to Paleoanthropology*, pp. 376–396, 2013.

Despre pierderea misterioasă a cozii la primatele antropoide:

Larson, S.G. & Stern, J.T., „Maintenance of above-branch balance during primate arboreal quadrupedalism: coordinated use of forearm rotators and tail motion“, în *American Journal of Physical Anthropology*, nr. 129, pp. 71–81, 2006.

Despre coloana lombară la fosilele de hominini:
Lovejoy, C.O., „The natural history of human gait and posture, Part 1: spine and pelvis", în *Gait and Posture*, nr. 21, pp. 95–112, 2005.

Un văr cu spatele drept

Despre cum se măsoară gradul de lordoză la coloanele vertebrale fosile:
Been, E., Gomez-Olivencia, A., Kramer, P.A., „Lumbar lordosis of extinct hominins", în *American Journal of Physical Anthropology*, nr. 147, pp. 64–77, 2012.

COASTE, PLĂMÂNI ŞI INIMI

Forme toracice

Despre forma pieptului la primatele antropoide:
Kagaya, M., Ogihara, N., Nakatsukasa, M., „Morphological study of the anthropoid thoracic cage: scaling of thoracic width and an analysis of rib curvature", în *Primates*, nr. 49, pp. 89–99, 2008.
Despre anatomia şi locomoția primatelor antropoide:
Larson, S.G., „Parallel evolution in the hominoid trunk and forelimb", *Evolutionary Anthropology*, nr. 6, pp. 87–99, 1998.

Coaste fosile

Despre schimbările evolutive ale formei pieptului la hominini:
Haile-Selassie, Y. *et al.*, „An early *Australopithecus afarensis* postcranium from Woranso-Mille, Ethiopia", în *Proceedings of the National Academy of Science*, nr. 107, pp. 12121–12126, 2010.
Schmid, P. *et al.*, „Mosaic morphology in the thorax of *Australopithecus sediba*", în *Science*, nr. 340, p. 1234598, 2013.
Wong, K., „Is *Australopithecus sediba* the most important human ancestor discovery ever?", în *Scientific American*, aprilie 23, 2013.
Despre posibilitatea ca homininii să fi evoluat dintr-o primată antropoidă mică, care avea forma pieptului asemănătoare cu a gibonilor sau a maimuțelor-păianjen:
Lovejoy, C.O. *et al.*, „The pelvis and femur of *Ardipithecus ramidus*: the emergence of upright walking", în *Science*, nr. 326, pp. 71–71e6, 2009.
Stern, J.T. *et al.*, „An electromyographic study of the pectoralis major in Atelines and Hylobates with special references to the evolution of a pars clavicularis", în *American Journal of Physical Anthropology*, nr. 20, pp. 498–507, 1980.

Pieptul omului de Neanderthal

Gomez-Olivencia, A. *et al.*, „Kebara 2: new insights regarding the most complete Neanderthal thorax", în *Journal of Human Evolution*, nr. 57, pp. 75–90, 2009.

Cum cresc plămânii

Suzuki *et al.*, „The mitochondrial phylogeny of an ancient lineage of ray-finned fishes (Polypteridae) with implications for the evolution of body elongation, pelvic fin loss and craniofacial morphology in Osteichthyes“, în *BMC Evolutionary Biology*, nr. 10, p. 21, 2010.

INTESTINE ŞI SACI VITELINI

O călătorie fantastică

Investigarea cu videocapsula endoscopică la Selly Oak Hospital:

Hudson, J., „Hope at end of fantastic voyage“, în *Birmingham Post*, 24 mai 2002.

Despre „neunicitatea“ intestinelor umane

Despre lipsa unei corelații între mărimea creierului şi mărimea intestinelor la diverse animale:

Hladik, C.M. & Pasquet, P., 2003. „Ca răspuns la: Kaufman, J.A., „On the expensive tissue hypothesis: independent support from highly encephalised fish“, în *Current Anthropology*, nr. 44, pp. 705–707, 2003.

Studiul despre mărimea creierului şi cantitatea de grăsime la om şi la alte animale:

Navarrete, A., Van Schaik, C.P., Isler, K., „Energetics and the evolution of human brain size“, în *Nature*, nr. 480, pp. 91–93, 2011.

Despre cum alimentația sănătoasă ajută la dezvoltarea creierului şi a organismului în general:

Pontzer H., „Ecological energetics in early *Homo*“, în *Current Anthropology*, vol. 53, nr. S6, pp. S346–S358, 2012.

Despre persistența lactazei şi capacitatea de a digera laptele la maturitate:

Ingram, C.J.E. *et al.*, „Lactose digestion and the evolutionary genetics of lactase persistence“, în *Human Genetics*, nr. 124, pp. 579–591, 2009.

GONADE, ORGANE GENITALE ŞI GESTAȚIE

Umflături, noduri şi tuburi

Pentru mai multe informații despre anatomia şi funcționarea organelor genitale externe:

Berman, J.R. & Bassuk, J., „Physiology and pathophysiology of female sexual function and dysfunction“, în *World Journal of Urology*, nr. 20, pp. 111–118, 2002.

O'Connell, H.E., „Anatomy of the clitoris“, în *Journal of Urology*, nr. 174, pp. 1189–1195, 2005.

Despre canalul lui Müller şi canalul lui Wolff:
Brian, B.H. & Bloom, D.A., „Wolff and Muller: fundamental eponyms of embryology, nephrology and urology“, în *The Journal of Urology*, nr. 168, pp. 425–428, 2002.

Adevăratele „bijuterii de familie“: incredibilele testicule (şi ovare) migratoare

Ivell, R., „Lifestyle impact and the biology of the human scrotum“, în *Reproductive Biology & Endocrinology*, nr. 5, p. 15, 2007.
Despre dimensiunea testiculelor la om, cimpanzeu şi gorilă:
Dixson, A.F. & Anderson, M.J., „Sexual behaviour, reproductive physiology and sperm competition in male mammals“, în *Physiology & Behaviour*, nr. 83, pp. 361–371, 2004.

Penisuri, clitorisuri şi orgasm

Despre clitorisuri care seamănă cu un penis:
Place, N.J. & Glickman, S.E., „Masculinization of female mammals: lessons from nature“, în *Advances in Experimental Medical Biology*, nr. 545, pp. 243–253, 2004.
Pentru mai multe informații despre erecția peniană şi erecția clitoridiană:
Dean, R.C. & Lue, T.F., „Physiology of penile erection and pathophysiology of erectile dysfunction“, în *Urologic Clinics of North America*, nr. 32, pp. 379–395, 2005.
Gragasin, F.S. *et al.*, „The neurovascular mechanism of clitoral erection: nitric oxide and cGMP-stimulated activation of BKCa channels“, în *Federation of American Societies for Experimental Biology*, nr.18, pp. 1382–1391, 2004.
Despre oxitocină:
Borrow, A.P. & Cameron, N.M., „The role of oxytocin in mating and pregnancy“, în *Hormones and Behavior*, nr. 61, pp. 266–276, 2012.
Despre misterele orgasmului feminin:
Colson, M.-H., „Female orgasm: myths, facts and controversies“, în *Sexologies*, nr. 19, pp. 8–14, 2010.

Moduri de acuplare

Despre cum dansatoarele exotice câştigă mai mult când se află la ovulație:
Miller, G., Tybur, J.M., Jordan, B.D., „Ovulatory cycle effects on tip earnings by lap dancers: economic evidence for human estrus?“, în *Evolution and Human Behavior*, nr. 28, pp. 375–381, 2007.
Despre sex la cimpanzeii pigmei (bonobo):

De Waal, F.B.M., „Bonobo sex and society", în *Scientific American*, martie 1995.

Cămila prin urechile acului

Importanța învățării sociale la noi, oamenii:

Sterelny, K., „From hominins to humans: how *sapiens* became behaviourally modern", în *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, nr. 366, pp. 809–822, 2011.

Despre dilema obstetrică:

Rosenberg, K.R., „The evolution of modern human childbirth", în *Yearbook of Physical Anthropology*, nr. 35, pp. 89–124, 1992.

Rosenberg, K.R. & Trevathan, W., „Birth, obstetrics and human evolution", în *British Journal of Obstetrics & Gynaecology*, nr. 109, pp. 1199–1206, 2002.

Despre noile provocări care pun la îndoială dilema obstetrică:

Dunsworth, H.M. *et al.*, „Metabolic hypothesis for human altriciality", în *Proceedings of the National Academy of Science*, nr. 109, pp. 15212–15216, 2012.

Puteți viziona întâlnirea cu Holly Dunsworth în care am discutat despre dilema obstetrică (de la minutul 28.00), în cadrul documentarului BBC Two *Horizon*: *What makes us human*?

www.youtube.com/watch?v=AqK6eE51Ctk

Wells, J.C.K., DeSilva, J.M., Stock, J.T., „The obstetric dilemma: an ancient game of russian roulette, or a variable dilemma sensitive to ecology?", în *Yearbook of Physical Anthropology*, nr. 55, pp. 40–71, 2012.

Despre dificultatea de a determina factorul care declanşează naşterea la om:

Plunkett, J. *et al.*, „An evolutionary genomic approach to identify genes involved in human birth timing", în *PLoS Genetics*, nr. 7: e1001365, aprilie 2011.

O introducere generală în reproducerea umană şi contextul naşterii:

Ellison, P.T., *On Fertile Ground*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2001.

Mărimea capului fătului la maimuțe şi la primatele antropoide:

Schultz, A., „Sex differences in the pelves of primates", *American Journal of Physical Anthropology*, nr. 7, pp. 401–423, 1949.

Despre distocie în lumea întreagă de-a lungul timpului:

Dolea, C. & AbouZahr, C., *Global burden of obstructed labour in the year 2000. Evidence and Information for Policy*, Organizația Mondială a Sănătății, Geneva, 2003.

Maharaj, D., „Assessing cephalopelvic disproportion: back to the basics", în *Obstetrical & Gynecological Survey*, nr. 65, pp. 387–395, 2010.

Ould El Joud, D., Bouvier-Colle, M.-H., MOMA Group, „Dystocia: a study of its frequency and risk factors in seven cities of west Africa“, în *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, nr. 74, pp. 171–178, 2001.

Roy, R.P., „A Darwinian view of obstructed labor“, în *Obstetrics & Gynecology*, nr. 101, pp. 397–401, 2003.

Wittman, A.B. & Wall, L.L., „The evolutionary origins of obstructed labor: bipedalism, encephalisation, and the human obstetric dilemma“, în *Obstetrical & Gynecological Survey*, nr. 62, pp. 739–748, 2007.

DESPRE NATURA MEMBRELOR

Înmugurirea membrelor şi cartilajele de creştere

Despre moartea celulelor în embriologie:

Penazola, C. *et al.*, „Cell death in development: shaping the embryo“, în *Histochemistry and Cell Biology*, nr. 126, pp. 149–158, 2006.

Despre moartea celulelor în creierul în dezvoltare:

Azevedo, F.A.C. *et al.*, „Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain“, în *The Journal of Comparative Neurology*, nr. 513, pp. 532–541, 2009.

Low, L.K. & Cheng, H.-W., „Axon pruning: an essential step underlying the developmental plasticity of neuronal connections“, în *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, nr. 361, pp. 1531–1544, 2006.

Dansul miotomurilor

Despre genele *Hox* şi dezvoltarea membrelor:

Burke, A.C. & Nowicki, J.L., „*Hox* genes and axial specification in vertebrates“, în *American Zoologist*, nr. 41, pp. 687–697, 2001.

Richardson, M.K. *et al.*, „Heterochrony in limb evolution: developmental mechanisms and natural selection“, în *Journal of Experimental Zoology*, nr. 312B, pp. 639–664, 2009.

Înotătoare şi membre

Owen, R., „On the Nature of Limbs“. Un discurs ținut vineri, 9 februarie, în cadrul unei întâlniri a Royal Institution of Great Britain. John van Voorst, London, 1849.

Despre comutatorul genetic pentru degetele de la mâini şi de la picioare:

Gilbert, S.F., „Generating the proximal-distal axis of the limb“, în *Developmental Biology*, Sinauer Associates, Sunderland, MA, 2000.

Saga groenlandeză

Despre *Acanthostega*:

Clack, J.A., „The emergence of early tetrapods“, în *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, nr. 232, pp. 167–189, 2006.

Despre pelvisul fosilei *Tiktaalik*:

Shubin, N.H., Daeschler, E.B., Jenkins, F.A., „Pelvic girdle and fin of *Tiktaalik roseae*“, în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nr. 111, pp. 893–899, 2014.

DE LA ŞOLD LA DEGETELE DE LA PICIOARE

Două picioare bine

Despre poziția găurii occipitale mari ca indiciu al mersului biped:

Russo, G.A. & Kirk, E.C., „Foramen magnum position in bipedal mammals“, în *Journal of Human Evolution*, nr. 65, pp. 656–670, 2013.

Şoldurile lui Lucy şi genunchiul lui Johanson

Despre şoldurile homininilor:

Lovejoy, C.O., „The natural history of human gait and posture – Part 1: spine and pelvis“, în *Gait and Posture*, nr. 21, pp. 95–112, 2005.

Despre unghiul bicondilar la australopiteci:

Lovejoy, C.O., „The natural history of human gait and posture – Part 3: the knee“, în *Gait and Posture*, nr. 25, pp. 325–341, 2007.

Limitările labei piciorului la om

Despre flexibilitatea incredibilă a gleznei la populațiile care se cațără în copaci:

Venkataraman, V.V., Kraft, T.S., Dominy, N.J., „Tree climbing and human evolution“, în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nr. 110, pp. 1237–1242, 2013.

Despre labele flexibile ale picioarelor la primatele antropoide:

Lovejoy, C.O. *et al.*, „Combining prehension and propulsion: the foot of *Ardipithecus ramidus*“, în *Science*, vol. 326, nr. 72, pp. 72e1–72e8, 2009.

Labele picioarelor umane, puse la încercare:

Bates, K.T. *et al.*, „The evolution of compliance in the human lateral midfoot“, în *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, nr. 280, p. 20131818, 2013.

DeSilva, J.M. & Gill, S.V., „Brief communication: A midtarsal (midfoot) break in the human foot“, în *American Journal of Physical Anthropology*, nr. 151, pp. 495–499, 2013.

Originile mersului biped

Stephen Jay Gould despre „The March of Progress“:

Gould, S.J., *Wonderful Life*, WW Norton & Co., New York, pp. 30–36, 1989.

Pentru un rezumat al dezbaterii despre originile mersului biped:
Corruccini, R.S. & McHenry, H.M., „Knuckle-walking hominid ancestors", în *Journal of Human Evolution*, nr. 40, pp. 507–511, 2001.
Dainton, M., „Did our ancestors knuckle-walk?", în *Nature*, nr. 410, pp. 324–325, 2001.
Kivell, T.L. & Schmidt, D., „Independent evolution of knuckle-walking in African apes shows that humans did not evolve from a knuckle-walking ancestor", în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nr. 106, pp. 14241–14246, 2009.
Richmond, B.G., Begun, D.R., Strait, D.S., „Origin of human bipedalism: the knuckle-walking hypothesis revisited", în *Yearbook of Physical Anthropology*, nr. 44, pp. 70–105, 2001.
Strămoşii cu poziție verticală ca ipoteză predominantă la începutul secolului XX:
Avis, V., „Brachiation: the crucial issue for Man's ancestry", *Southwestern Journal of Anthropology*, nr. 18, pp. 119–148, 1962.
Keith, A., „Man's posture: its evolution and disorders", în *British Medical Journal*, nr. 1, pp. 451–454, 1923.
Despre deplasarea lui Ardi prin copaci:
Crompton, R.W., Sellers, W.I., Thorpe, S.K.S., „Arboreality, terrestriality and bipedalism", în *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, nr. 365, pp. 3301–3314, 2010.
Lovejoy, C.O., McCollum, M.A., „Spinopelvic pathways to bipedality: why no hominids ever relied on a bent-hip-bent-knee gait", în *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, nr. 365, pp. 3289–3299, 2010.
Despre cum stăteau şi cum se deplasau primatele antropoide prin copaci:
Hunt, K.D., „Positional behaviour in the Hominoidea", în *International Journal of Primatology*, nr. 12, pp. 95–118, 1991.
Thorpe, S.K.S. & Crompton, R.H., „Orangutan positional behaviour and the nature of arboreal locomotion in Hominoidea", în *American Journal of Physical Anthropology*, nr. 131, pp. 384–401, 2006.
Despre expansiunea relativ târzie a habitatului de savană în Africa:
DeMenocal, P.B., „African climate change and faunal evolution during the Pliocene-Pleistocene", în *Earth and Planetary Science Letters*, nr. 220, pp. 3–24, 2004.
Despre anatomia şi comportamentul lui *Oreopithecus*:
Crompton, R.H., Vereecke, E.E., Thorpe, S.K.S., „Locomotion and posture from the common hominoid ancestor to fully modern hominins with special reference to the common panin/hominin ancestor", în *Journal of Anatomy*, nr. 212, pp. 501–543, 2008.

Despre cățărat și atârnatul de crengi ca opțiuni viabile pentru o primată antropoidă cu corpul masiv:
Larson, S.G., „Parallel evolution in the hominoid trunk and forelimb“, în *Evolutionary Anthropology*, nr. 6, pp. 87–99, 1998.

Născuți ca să fugim

Despre diversitatea fosilelor descoperite în situl arheologic Dmanisi din Republica Georgia:
Lordkipanidze, D. *et al.*, „A complete skull from Dmanisi, Georgia, and the evolutionary biology of early *Homo*“, în *Science*, nr. 342, pp. 326–331, 2013.
Despre cum picioarele lungi ar putea fi o simplă consecință a creșterii masei corporale:
Pontzer, H., „Ecological energetics in early *Homo*“, în *Current Anthropology*, vol. 53, nr. S6, pp. S346–S358, 2012.
Despre mediul în care trăia Băiatul de la Nariokotome – expansiunea savanei africane:
DeMenocal, P.B., „African climate change and faunal evolution during the Pliocene-Pleistocene“, în *Earth and Planetary Science Letters*, nr. 220, pp. 3–24, 2004.
Despre dovezile care ne arată că homininii preistorici practicau vânătoarea:
Ferraro, J.V. *et al.*, „Earliest archaeological evidence of persistent hominin carnivory“, în *PLOS One*, nr. 8, p. e62174, 2013.

O altfel de noutate

Despre maleabilitatea anatomiei și despre cum un animal se poate schimba ca să se adapteze la mediu înainte să se producă vreo schimbare genetică:
West-Eberhard, M.J., „Phoenotypic accommodation: adaptive innovation due to developmental plasticity“, în *Journal of Experimental Zoology*, nr. 304B, pp. 610–618, 2005.
Despre epigenetică și posibilitatea ca schimbările adaptive apărute în cursul vieții unui animal să se transmită generației următoare:
Bateson, P., „The impact of the organism on its descendants“, în *Genetics Research International*, vol. 2012, nr. art.: 640612, 2012.

UMERI ȘI DEGETE MARI

Umerii homininilor

Despre apariția târzie a umerilor cu aspect uman:
Larson, S.G. *et al.*, „*Homo floresiensis* and the evolution of the hominin shoulder“, în *Journal of Human Evolution*, nr. 53, pp. 718–731, 2007.
Despre eliberarea energiei potențiale în timpul aruncării:

Roach, N.T. *et al.*, „Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in *Homo*“, în *Nature*, nr. 498, pp. 483–486, 2013.
Despre vârfurile de obsidian preistorice de la Gademotta:
Sahle, Y. *et al.*, „Earliest stone-tipped projectiles from the Ethiopian Rift date to >279,000 years ago“, în *PLOS One*, nr. 8, p. e78092, 2013.

Coate, încheieturi şi mâini de primată antropoidă

Despre forma coatelor la cimpanzei:
Larson, S.G., „Parallel evolution in the hominoid trunk and forelimb“, în *Evolutionary Anthropology*, nr. 6, pp. 87–99, 1998.
Despre diferențele dintre mâna omului şi a cimpanzeului:
Marzke, M.W., „Precision grips, hand morphology, and tools“, în *American Journal of Physical Anthropology*, nr. 102, pp. 91–110, 1997.
Marzke, M.W. & Marzke, R.F., „Evolution of the human hand: approaches to acquiring, analysing and interpreting the anatomical evidence“, în *Journal of Anatomy*, nr. 197, pp. 121–140, 2000.

Mâinile strămoşilor noştri

Despre cum curbura oaselor degetelor reduce tensiunea din mâinile care atârnă de crengi:
Richmond, B.G., „Biomechanics of phalangeal curvature“, în *Journal of Human Evolution*, nr. 53, pp. 678–690, 2007.
Despre mâna lui Ardi şi despre evoluția independentă a metacarpienelor lungi la cimpanzei şi gorile:
Lovejoy, C.O. *et al.*, „Careful climbing in the Miocene: the forelimbs of *Ardipithecus ramidus* and humans are primitive“, în *Science*, nr. 326, p. 70, 2009.
Despre interpretarea dată de Don Johanson degetelor curbate şi brațelor lui Lucy:
Wong, K., „Lucy's Baby“, în *Scientific American*, nr. 22, pp. 4–11, 2012.
bigthink.com/videos/what-lucy-looked-like
Despre coloanele vertebrale flexibile şi abandonarea traiului arboricol:
Lovejoy, C.O., „The natural history of human gait and posture – Part 1: spine and pelvis“, în *Gait and Posture*, nr. 21, pp. 95–112, 2005.
Pentru mai multe informații despre mâinile lui *Australopithecus sediba*:
Kivell, T.L. *et al.*, „*Australopithecus sediba* hand demonstrates mosaic evolution of locomotor and manipulative abilities“, în *Science*, nr. 333, p. 1411, 2011.

Degete mari unice

Diogo R., Richmond B.G., Wood B., „Evolution and homologies of primate and modern human hand and forearm muscles, with notes on thumb move-

ments and tool use“, în *Journal of Human Evolution*, nr. 63, pp. 64–78, 2012.

Williams, E.M., Gordon, A.D., Richmond, B.G., „Hand pressure distribution during Oldowan stone tool production“, în *Journal of Human Evolution*, nr. 62, pp. 520–532, 2012.

CUM AM APĂRUT

Marea şansă a existenței

Pentru mai multe informații despre embriologie în general şi despre numărul estimat de avorturi spontane:

Sadler, T.W., *Langman's Medical Embryology*, Williams and Wilkins, Lippincott, 2012.

Despre constrângerile care limitează evoluția:

Muller, G.B. & Newman, S.A., „The innovation triad: an EvoDevo agenda“, în *Journal of Experimental Zoology B*, nr. 304B, pp. 487–503, 2005.

Stăpâni pe propriul destin

Pentru o expunere strălucită despre modul în care animalele influențează mediul în care trăiesc:

Dawkins, R., *The Extended Phenotype*, Oxford University Press, 1982.

Unicitatea omului

Pentru a înțelege mai bine în ce constă unicitatea omului:

Cartmill, M., „Human uniqueness and theoretical content in paleoanthropology“, în *International Journal of Primatology*, nr. 11, pp. 173–192, 1990.

Roberts, A.M. & Thorpe, S.K.S., „Challenges to human uniqueness: bipedalism, birth and brains“, în *Journal of Zoology*, vol. 292, nr. 4, aprilie 2014.

Pentru a înțelege de ce nu trebuie să căutăm un singur moment-cheie care să explice toate schimbările din evoluția omului:

Cartmill, M., „Primate origins, human origins, and the end of higher taxa“, în *Evolutionary Anthropology*, nr. 21, pp. 208–220, 2012.

LISTA ILUSTRAȚIILOR
ŞI
INDICE

INDICE

Acanthostega 30, 260–263
acid folic 156, 157
adaptare fenotipică 294–297
adaptare anatomică 186, 293–297
adaptare la altitudine 186, 187
ADN *v. şi* genele *Hox*
  concepție 21
  descoperire 31
  exprimarea genelor 46, 50, 322, 323
  patologie 269
  secvențiere 44–46, 150, 151, 154, 322
Agassiz, Louis 28
agnate 80–82
Aiello, Leslie 127, 209, 210, 212
Akhenaton 89, *90*
alăptat 235, 244
alergare 292–294, 296, 297, 304
alimentație carnivoră 293, 296
Allen, Grant 108
alveole 194
amfibieni 29, 55, 217, 218
amfiocşi
  anatomie 38
  caracteristici de cordată *40*
  gene *Hox* 83, 151, 152
  genom 79, 80
  „ochi frontal“ 103, 104
  relația cu vertebratele 80
  strămoşi 41
  tub neural 53
amilază 213
amphioxus v. amfiocşi
anencefalie 52
anestezie epidurală 158
anosmie (pierderea mirosului) 99
anus *48*
aortă *51*, 138, *192*
aortă dorsală 136, *138*, 189
apendice 208
arahnoidă 158, 159
arborele vieții 28, 30–32, 261, 269, 282, 331, 332, 334–336
arcuri branhiale
  artere 138
  dezvoltare embrionară 135–*137*, 144–146
  dezvoltarea mandibulei 140
  dezvoltarea osiculelor 140, 141
  la peşti 134, 135
  la rechin 134
  la rechinul-pisică *146*
  muşchii feței 142
Ardipithecus ramidus (Ardi) 279, 280, 285, 286, 312
arici-de-mare 41, 43, 46
arici sonic 51
aripi 93, 149, 150, 267, 268, 335
Aristotel 14, 17, 27, 322
arme 306, 307
artere *138*, 139, 159, 233
artere ombilicale 189, *192*

articulații sacro-iliace 264
articulațiile
~ coloanei vertebrale *161*
~ membrelor 263, 264
~ şoldurilor 272
~ umărului 301–304
artropode 50
aruncare 297, 305–307
ascidii 35–37, *39*
astronauți 294
ataşarea blastocistului 24
atârnatul de crengi (brahial) 283, 288
Atlas of Creation 152
atrii (inimă) 189–*201*
Australopithecus afarensis v. şi Kadanuumuu; Lucy
coloana vertebrală 169, 170
fosile *184*
genunchi 273
laba piciorului 276
mărimea creierului 75
mâini 313
os hioid 123, 124
urmele labei piciorului 277
australopiteci 72, 124, 129, 170, 274, 289, 291
Australopithecus sediba 182, 183, 314
autism 69
auz 96–98, 140, 141
avort spontan 325
axoni 59

babuini 102, 108, 167, 168, *309*
baculum 232
balene
fosile 30
mărimea creierului 71
testicule 230
tetrapode 267
balistică 307
Barney, Anna 125
Bar-Yosef, Ofer 117
Bateson, William 44, 46, 150
Băiatul de la Nariokotome 181, 182, 289, 290, *291*, 293, 304, 306
Berger, Matthew 182
bicepşi 156, 255
Bird, Geoff, dr. 66, 69
blastocist 23–25, 201
Brainbow 63
branhii 136, 137, 189, 197, 261
brațe *v. şi* membre
aruncare 297, 304–306
creştere 254
dezvoltare embrionară *252*, 255, 256
mişcare 301, 302, 308, 309
mobilitate 301, 302
nervi 156
oase 302, 303, 306, 308, 309
Broca, Paul 62
Brunet, Michel 269, 270
bulbi vestibulari 221
bulb rahidian (structură cerebrală) *53*, 59
bunici 239
buze 121, 122

***C**aenorhabditis elegans* 63
cai 208, 261
canal anal 203, 219
canal auditiv 96, 97, 144
canal deferent 224, *225*, 226
canal digestiv *v.* intestin
canal optic *100*
canale ejaculatoare 224
canale semicirculare 97
canalele lui Müller 223, 225–229
canalele lui Wolff 223–226
canalul hipoglosului 122, 123
canguri 228, 268, 270
capitel 308

capra săltăreață a lui Slijper 294
carnivore
  intestine 209
  poziția ochilor 109, 110
cartilaj
  coloana vertebrală 164
  craniu 86, 87
  cutie toracică 176
  funcție în schelet 133
  laringe 118, 119, 133
  la rechini 134
  membre 252–254
cartilaj aritenoid 119, 120, 134
cartilaj costal 176
cartilaj cricoid 119, 120, 134
cartilaj hialin 164, 165
cartilaj hiomandibular 134
cartilaj (placă) de creştere 253, 254, 291
cartilaj tiroid *118*, 119
cartilajul lui Meckel 27, 134, 135, 140
Cartmill, Matt 334
castraveți-de-mare 42
catastrofe naturale 327, 328, 334
cavitate amniotică 25
cavitate bucală 124, 125, 131, 195, 202
cavitate nazală 87, 99, *195*
căprioare 130
căscat 244
cățărat
  brațe 309
  dezvoltare evolutivă 288
  forma pieptului 178, 179, 185
  glezne 278, 279
  mers prin copaci 167, 168, 286, 327
câini *87*, 101, 208, 237
CE (coeficient de encefalizare) 71, 72, 75
cec 208
celom *51*
celule
  diferențiere 155
  semnalizare prin proteine 50
celule ciliate *105*
celule stem 162, 231
centură pelviană 263
centură scapulară 263
cerebel 59, 72, *100*
cervix 19, 234
cGMP (guanozină-monofosfat ciclic) 233
chişcari
  genele receptorilor olfactivi 101
  gură 81, 82
  Henric I 80
  ochi 102, 103, 105, 107
  relația cu vertebratele *81*
  stil de viață 82
Cicero 111
ciclu menstrual 19, 195, 325
cicluri de reproducere 236
cimpanzei
  brațe *308*
  căratul hranei 287
  coloana vertebrală 167–169, 313
  craniu *128*
  creier 71, 72
  cutie toracică 185
  dezvelirea dinților 142, 143
  enzime digestive 213
  glezne 275
  laba piciorului 275, *276*
  mărimea testiculelor 231, 232
  mâini 309–312
  mers sprijinit în pumni 284, 285, 288, 311
  naştere 244
  perioadă de gestație 241
  semnalizarea prin culoare a fertilității 108, 109

şolduri *271*
teoria minții 74, 75
cimpanzei bonobo 232, 237, 281
circulația la făt 191, *192*
circulația oxigenului 189–192
circulația sângelui 188, 191–193, 197
Clack, Jenny 260
clasificarea animalelor 27, 38, 39
claviculă 86, 87, *121*, 182, 186, 253, 263, 301, 304–306
clitoris
dezvoltare embrionară 219, 220
erecție 233, 234
formă 232
orgasm 235
poziția 237
structură 221, 222
cloacă 153, 218, 219, 226
coiful rotatorilor 302
coaste
dezvoltare embrionară 175, 176
dovezi fosile 175, 181–183
număr 175
coate 302, 305, 308, 309
coccis 157, 162, *222*
Cockel, Roy, dr. 205, 206
coeficient de encefalizare (CE) 71, 72, 75
cohlee 97, 98, *100*, 140
coloana vertebrală *v. şi* vertebre
anatomie 157–159
coadă 160, 162
curbură/lordoză 128, 169–*171*, 273
discuri intervertebrale 162–164
funcție 160
gene *Hox* 153
mişcare 164–166, 168
muşchi 156
oameni de Neanderthal 170–172
stabilitate *171*
Toumai 270
colon 204, 208
colonoscopie 206
comportament determinat de scop 74
comportament matern 235
comunități americane indigene 89, 90
concepție
descriere generală 18–21
eşec 325
înțelegere de-a lungul istoriei 14–18
marea şansă 12, 335, 336
condili occipitali 127
condrocraniu *86*
consumul de cadavre 293, 296
controlul subconştient asupra funcțiilor fiziologice 165, 166
copii
direcția privirii 111, 112
laringe 129
copulație 236, 237
cordate
chişcari 82
definiție 38
gastrulație 49, 50
Haikouella 40, 41
în comparație cu embrionul uman în vârstă de 3 săptămâni *40*
origini 39
relația cu echinodermele 42, 43
relația cu viermii-ghindă 44–46
corp vitros 106
cortex 58, 62, 72
cortex motor 66
cortex olfactiv 55, 59
cortex auditiv 97
cortex prefrontal 68
cortex senzorial 165
coarde vocale 119–121, 124, 125, 129, 138
coadă 160, 162, 167
craniu *v. şi foramen magnum*
agnate 82

ancorarea muşchilor 92, 93
celule din creasta neurală 79, 80, 83, 84
condrocraniu *86*
creştere în copilărie 88, 90
cutie craniană 87
deformare 89, 90
dezvoltare embrionară 86, 87
dezvoltare evolutivă 73, 82
diferenţe între sexe 92, 93
fontanele 88, *89*
hidrocefalie 90–92
indicator al vârstei 94, 95
înclinarea bazei 76
la nou-născut 88, 238–241
la om *vs* la câine *87*
mărime 76
mişcare 159, 160
scanare RMN 56
Starchild 91, *92*
structură 99, *100*
suturi *88*, 89, 90, 94, 95
creastă neurală 79, 80, 83–85, 133, 146
creaţionism 28, 29, 152
creier
artere 159
coeficient de encefalizare (CE) 71, 72
conexiuni neurale 63, 64
controlul limbajului 58, 63
consult optic 114
Haikouella 47, 48
importanţa notocordului 50, 51
mărime 55, 56, 71–73, 75, 76, 208–211
într-a patra săptămână de dezvoltare 52, *53*
într-a şasea săptămână de dezvoltare *53*
necesar de energie 209
nervi cranieni *100*
neuroni-oglindă 68–71
scanare imagistică 56, 57, 61–68
selecţie naturală 69, 73
separarea funcţiilor 58, 59, 61, 62
structură 54–59, 72
tehnologie 339
teoria minţii 73–75, 333, 336
traumatisme 99
ventricule 90, *91*
creşterea copiilor 239
crini-de-mare 42, 43
criptorhidism 230
crocodili 219, 226
cromozom Y 11, 226
cromozomi 20–22, 150, 152
Crompton, Robin 277, 280, 285
crura 221
cubitus 302, 308, 309
cultură 143, 282, 315, 324, 329
cumulus oophorus 20
cutie toracică
anatomie 176
cartilaj 176
coloana vertebrală 160
formă 175, 177–187
funcţie 177, 178
la oameni *vs* la urangutani *179*
muşchi 180
neanderthalieni 172, 185–187

daltonism 108
Darwin, Charles 27, 28, 30, 45, 86, 103, 105, 152, 257, 258, 286, 295, 297, 333
Dawkins, Richard 42, 329
de Graaf, Regnier 16
Dean, Christopher 209, 210, 212
degete
Acanthostega 261

control al creierului 57
dezvoltare evolutivă 312, 313
gene 154
degete mari 311–317
degete de la picioare
Acanthostega 261
formă 268, 274, 275
delfini 267
delfinul lui Dall 161
dentină 95
depresiune optică 106
dermă 155
Deuterostomia 50, 54
dezvoltare embrionară
arcuri branhiale 135, 137, 144–146
celule din creasta neurală 79, 80, 83–85
coaste 175, 176
comparație cu alte animale *26*
creier 52–55
descriere de ansamblu 11, 12, 321–325
diafragmă 177
fate mapping 85
inimă 138, 139, 188–193, 252
intestine 193, 194, 201–*205*
laringe 202
limitări 13, 326, 327
membre 251–253, 255
moartea celulelor 251, 252
mușchi 255, 256
nervi 84, 139, 156, 166, 177, 251, 252
ochi *52*, 55, 105, 106, 252
organe genitale 219–223, 226, *227*
plămâni 193–195, 202
prima săptămână 24
rinichi *223*
săptămâna a doua 47
săptămâna a treia 40, 49, *51*, 79
săptămâna a patra 25, 52, 54, 135, 176, 188
săptămâna a cincea 25, 136, 177, 193, 194, 203, 204
săptămâna a șasea 54, 206, 251, 252
săptămâna a șaptea 251
săptămâna a opta 253, *324*
sistem reproducător 221
urechi 143, 144
vase de sânge *51*, 188, 251, 252
vertebre 155–157
dezvoltare evolutivă, vedere de ansamblu 12–14, 321, 323–325, 331–334
v. și selecție naturală;
dezvoltarea capului 41, 46
dezvoltarea histologiei 31
diafragmă 176, 177, 186
dieta paleo 214
diferențe între sexe
craniu 91–93
mărul lui Adam 119, 120
pelvis 238, 239, 242
tonul vocii 129, 130, 132, 133
diferențiere 28, 322–324
digerarea laptelui 213
digitus impudicus 261
dinozauri 141, 257, 266, 267, 328, 335
dinți
celule din creasta neurală 84
de adult *vs* de lapte 93, *94*
indicatori ai vârstei 93–95, 254
limbaj 121
Morganucodon 141
smalț 95
uzură dentară 95
dinți de lapte 94
disc optic 113
discuri deplasate 162, 163
discuri intervertebrale 162–164
disfuncții sexuale 233

disimulare 112, 113
dislocare 302
distocie 245, 246
diverticul respirator *205*
dominația masculilor 132, 133
Dryopithecus 282
Duboule, Denis 152, 256
Dunsworth, Holly 241
duoden 166, 204, 207
dura mater 158, 159
durere 165, 166
durere reflectată 166
dureri de spate 164, 165

echinoderme 41–43, *45*, 50
ecocardiogramă 193
ectoderm *48*, 49, 50, *51*, 79, 85, 106, 135, *202*, 251
edem papilar 114
efectul Baldwin 296
EGD (esofagogastroduodenoscopie) 206
ejaculare 19, 234
electroencefalografie (EEG) 65
empatie 69
emboîtement 18
embriologie, vedere de ansamblu 31, 32
embrion
  arcuri faringiene şi branhiale *137*
  caracteristici de cordată 40
  circulația sângelui 188, 189
  condrocraniu *86*
  gene *Hox* 146, 151, 152
  hernie 203
  legea asemănării embrionare 86, 87
  muguri pulmonari 194, 195
  pui de găină 223, 226
  relații evolutive 27–29
  sac vitelin 25, *48*, 49, 201, 202
endoderm
  dezvoltarea intestinelor 135
  formare *48*, 49
endoscopie 205
enzime
  enzime digestive 203, 213 *v. şi* intestine
  penis 233
  retină 233
epiblast 25, 49
epidermă 46, 84, 136, 156
epigenetică 269, 295, 322
epigeneză 17, 223, 269, 322, 336
epiglotă 119, 126, 127, 133, *195*
erbivore
  intestine 208
  poziția ochilor 109
erecție 232–234
esofag 127, 195, 206
EvoDevo 31, 323
evoluție convergentă 178, 312, 327
evoluție prin selecție naturală *v.* selecție naturală
evoluție, definiție istorică 18
explozie cambriană 39
exprimarea genelor 46, 104, 146
extincție 328

falange *309*, 313
faringe 124, 125, 127, 131, 144, 195, 196, 261
fate mapping 85
față
  capacitatea de a zâmbi 142, 142
  celulele din creasta neurală 84
  efectul formei feței asupra vorbirii 129
  nerv trigemen *100*
  splanhnocraniu 134
fațete articulare 164–166
fălci *v.* mandibulă
făt
  dezvoltarea intestinelor 204
  lichid amniotic 229
  nevoia de energie 244

făurirea de unelte 14, 117, 306, 307, 314–316, 328–330
femur 270, 273, 274
fenotip 149
fenotip extins 329
fertilitate
ciclu menstrual 19
semnale vizuale 108, 109, 236
temperatura optimă pentru producția de spermă 230, 231
fertilizare
marea şansă 12
~ internă sau externă 217, 218
ficat 203, *205*
filogenie (relații evolutive) 29, 31, 45, 46, 323
fistulă branhială 145
flexarea degetului mare 315
flexarea piciorului 274, 275, 278–280
fluxul sangvin în creier 65
foliculi ai lui de Graaf 16, 17
fontanelă 88
foramen magnum (gaura occipitală mare)
dezvoltare embrionară *86*
poziție *128*, 270
foramen oval *191*, *192*
forma corpului 38, 41, 42, 46, 154, 187, 292–294
forme de cranii 89–93
forme ale capului la egipteni 89
fotosensibilitate 107 *v.* văz
frenologie 62
Freud, Sigmund 235
funcție cognitivă 59, 73 *v. şi* învățare
funcție socială
neuroni-oglindă 68, 69
ochi 110–113
sex 237
teoria minții 73–75
zâmbet 143
fus *22*

Gage, Phineas 59–62, 65, 73
Galileo 15
ganglioni 84
Garrod, Dorothy 117
gastrulație 49, 50
găini 201, 226, *228*
gât
durere 165
girafe 161, 295
mişcare 92, 118, 160
gena FOXD3 83
gene *v. şi* gene *Hox*
duplicare 82, 83, 101, 107, 197
influența mediului 268, 269
limitări 325, 326
membre 153, 154, 256
ochi 103–105, 107, 108
patologie 269
receptori olfactivi 99
testicule 226
gene *Hox*
amfiocşi 151
controlul asupra segmentelor corpului 146, 150–154, 157
dezvoltarea creierului posterior 54
duplicarea la mamifere 83
mamifere 151
membre 256, 260
genetică
musculița de oțet 149, 150, 155
omologie 39
primele studii 29, 30
progrese moderne 31
secvențierea ADN-ului 44–46, 150, 153, 154, 322
genunchi 268, 272–274
genunchi în X 274
genunchiul lui Johanson 272–274
Geotria australis 107
giboni 178, 179, 185, 275, 283, 284, 303

gir postcentral 57, *58*
gir precentral 57, *58*
giri 57
Glamorgan (Ţara Galilor) 141
glanda pituitară 235
glanda tiroidă 84
glande suprarenale 79, 84, 133
glezne 268, 274, 275, 278
gonade 219, 223
gorile *v. şi* primate antropoide
  coloană vertebrală 166, 167, 313
  copulaţie 237
  cutie toracică 185
  glezne 275
  laba piciorului 281
  mâini 312
  mers sprijinit în pumni 284, 285, 288
  organe genitale 231, 232
Gould, Stephen Jay 326
grăsime (ţesut adipos) 212
gubernaculum (ligament) 230
gură
  chişcari 81, 82
  Deuterostomia 50
  dezvoltare embrionară *48*, 202
  osul hioid 118
  Protostomia 50
  vorbire 124

Haeckel, Ernst *26*, 27, 29–31, 37, 39, 43, 106, 145, 189, 324
Haikouella 40, 41, 47, 48, 54, 80, 155
Harlow, John 60
Hartsoeker, Nicholas (homuncul) 17, 18
Hemichordata v. viermi-ghindă 43
hernie embrionară 203, 204
hidrocefalie 90
hipertensiune pulmonară venoasă 190
hipoblast 25, *47*, 49
hipocamp 55
Hipocrat 15
hipospadias 221
hipotalamus 235
Hispanopithecus 287
homeobox v. gene *Hox*
homeoză 150
Homo antecessor 304, 306
Homo erectus 75, 181, 187, 289, 291, 293, 327
Homo habilis 181, 291, 314
Homo heidelbergensis 73, 76, 123, 306
Homo rudolfensis 181
homosexualitate 237
homunculi
  harta nervilor 57, *58*
  idei timpurii despre spermă 17
Hooke, Robert 15
hormoni
  feminini 226, 238
  hormonul anti-Müllerian (AMH) 226, 230
  oxitocină 234, 235
  testosteron 219
Howell, F. Clark 282
humerus 254, 302, *308*, 309
Huxley, Thomas Henry 283, 333, 334

ilion 263, 272
imitaţie 68–70
incus (nicovala) 96
influenţa mediului 268, 269, 278, 279, 294–297, 323
inimă
  celule din creasta neurală 83, 84
  dezvoltare embrionară 138, 139
  nervi 138, 139
  orificii 193
  peşti 188, 189, 196
  pomparea sângelui 187, 188

intestine
ascidii 36
dezvoltare embrionară 193, 194, 201–204, *205*
dezvoltare evolutivă 207–214
endoscopie 204–207
flexibilitatea regimului alimentar 213
hernie embrionară 203, 204
mamifere 207, 208
mărime 208–210
originea endodermică 36, 49, 135
intestinul anterior *194*, 202, 208
intestinul mijlociu 202, *203*
intestinul posterior 202, *205*
inventarea microscopului 15
ipoteza crizei energetice 244
ipoteza dilemei obstetrice (DO) 240, 241, 244
ipoteza țesutului „scump" 208–211, 331

încheieturile mâinilor 283–285
înghițire 127, 144
înot, dezvoltarea capului 40, 49
înotătoare 45, 57, 259, 263
învățare 68, 70, 74, 239, 240, 252, 295, 296
învățare socială 239, 240

jejun 207
Johanson, Don 271, 313
Johnson, Virginia 235
Jones, Peter 277

Kadanuumuu 182–*184*, 289
Keith, Arthur, Sir 283
Kimeu, Kamoya 289
Kovalevski, Aleksandr 37

laba piciorului
Ardipithecus ramidus 279, 285, 286
boltă 275
dezvoltare embrionară 251
dezvoltare evolutivă 278, 281
flexare 274, 275, 278–280
formă 268
oase 274–276
oameni *vs* alte primate antropoide 275, 276, 278, 279
presiunea tălpii în timpul mersului 279–281
lactază 213, 214
Lamarck, Jean-Baptiste 295, 297
laringe
anatomie 118, 119, *131*
cerbi 130
dezvoltare embrionară 137, 202
dezvoltare evolutivă 133, 137
funcție 119, 120, 126, 127
mamifere 119, 120,
nervi 138, 139
poziție 124–130
prinderea de osul hioid 118
relația cu faringele 195
larve
ascidii 37
chişcari 82
stele-de-mare 42, 43
Leakey, Mary 277
lei 132
lemurieni 102, 108, 123, 168, 232, 236
liber-arbitru 64
lichid amniotic 11, 189, 190, 229
lichid biliar 203
lichid cefalorahidian (LCR) 90, 91, 114, 115, 158, 159
Lichtman, Jeff, prof. 63, 65
Lieberman, Dan 129, 291, 292, 327
Lieberman, Philip 124, 125
lilieci 229
limbă
dovezi fosile 122
muşchi 118

nervi *100*, 122
vorbire 120–122, 125, 126
limbaj *v.* vorbire
linia primitivă *48*
lobi frontali 58, 99
lobi occipitali 57, 58, 59, 72
lobi parietali 57, 58
lobi temporali 55, 57, 58
lordoză lombară 169–171, 273
lorişi 102, 108, 123
Lucy *v. Australopithecus afarensis*
coloana vertebrală 313
mărime 182, 272
mărimea creierului 75
mâini 313
mers 273, 274
oase *184*
şolduri 271, 272

macaci 285
maimuțe *v. şi* primate
alimentație 110
brațe 302, 309, 310
canalul hipoglosului 123
cicluri de reproducere 236
coate 308
cozi 167
cutie toracică 178, 179
laba piciorului 279
miros 101, 102
naştere 244
neuroni-oglindă 68, 69
uter 228, 229, 241
văz 108, 109
maimuțe-păianjen (*Ateles*) 168, 178, 232
maimuțe-veveriță 244
Malebranche, Nicolas 18
malleus (ciocănel) *96*, 97, 140
malnutriție 246
mamifere
auz 97, 140
comportament nocturn 108
creier 54, 55
gât 161
gene *Hox* 82, 83, 151, 152
intestine 207, 208
laringe 119, 120, 124
miros 99, 101
organe genitale 218, 219
sistem reproducător 226, 228–230
strămoşi din rândul reptilelor 140
strămoşi fosili 30, 31
strămoşi ovipari 25, 201
văz 107–109
mandibulă
articulații 140, 197
Morganucodon 141
rechini *134*, 141
March of Progress 282
marele trohanter 722
marmosete 102
marsuini 161, 268
marsupiale 228
Martelli, Sandra 125
Marzke, Mary 311
Masters, William 235
măduva spinării *v. şi* nervi
anestezie epidurală 158, 159
importanța notocordului 51
leziuni 177
meninge 158
plasarea neuronilor 50, 51
puncție lombară 158, 159
mărul lui Adam 119, 120
mâini *v. şi* degete mari
cimpanzei *309*–312
dezvoltare embrionară 251, *252*
dezvoltare evolutivă 312–314, 317
făurirea de unelte 13, 315–317, 328–330
mobilitate 302, 303

nervi 255, 256
oase 309, 312, *313*
omologie 45, 46, 259, 260
priză 312, 316
meatul auditiv extern (canalul auditiv) 97
Meckel, Johann Friedrich 27
membrana cloacală *48*, 219, *220*
membrana orofaringiană *48*, 219, *220*
membrana timpanică *96*
membrana urogenitală 219, *220*
membre *v. şi* braţe; picioare
Acanthostega 260–262
articulaţii 263, 264
cartilaj 252, 253
cod genetic 154
dezvoltare embrionară 251–253
dovezi fosile 30
funcţionare 261–263
gene 260
muşchi 255, 256
omologie 259, 260
poziţie 255
strămoşi cu înotătoare 256, 257, 259, 260, 262, 263
memorie 55, 73
meninge 114, *165*
menstruaţie, înţelegere de-a lungul istoriei 14
mers *v. şi* mersul biped; picioare
articulaţii pelviene 263, 264, 272, 273
coloana vertebrală 127, 128
contrabalansare cu braţele 179, 180
degete de la picioare 275
dovezi lăsate de urmele picioarelor 277
eficienţă 242, 243, 245, 274
forma pieptului 180
genunchi 273, 374
încălţări 281
lordoză lombară *169*, 170, 273
muşchi 242, 272
Oreopithecus bambolii 287, 288, 327
~ prin copaci 285–288
~ Trendelenburg 242, 272, 273
variaţia presiunii exercitate de talpă *280*, 281
mersul biped *v. şi* mers
capra săltăreaţă a lui Slijper 294
coloana vertebrală 127, 128
dezvoltare evolutivă 269, 281–289, 327
laringe 128
mersul biped frecvent 268, 283, 331
mersul prin copaci 285–288
mersul prin copaci 167, 168, 285–288, 327
mersul sprijinit în pumni 283–285, 288, 311, 327
mersul Trendelenburg 242, 272, 273
metabolizarea glucozei în creier 65
metacarpiene *309*, 312
metanefros 223
metatarsiene 276
metode comparative 31
mezenchim 85–87, 135, 175
mezoderm
aspect 85
dezvoltare *51*, 135, 136
formare *48*, 49
formarea mezenchimului 85, 86
mezonefros *223*, 224, *225*
mielină 59
minte 65, 330, 331, 333
miotomuri 255, 256
miros 55, 98–102
mişcare *v. şi* mers
alergare 292–294, 296, 297
canalele semicirculare ale urechii 97

cerebel 59
coloana vertebrală 159, 160, 164–168
cortex motor 65
cortex prefrontal 67, 68
dezvoltare evolutivă 327
omologie 284, 285
primate 167, 168
tetrapode 268
moartea celulelor 251, 252
moaşe 245–247
mobilitate 301–303
moluşte 50
morfogeni 155
morfologie (forma corpului) 38, 41, 46, 153, 154, 187, 292, 294, 295
Morgan, Thomas Hunt 140, 150, 155
Morganucodon 141
Morotopithecus 287
morulă 22, *23*, *24*
Mosley, Michael 66
moştenire 149, 150, 154, 155
mucoasă cervicală 19
muguri pulmonari *194*
muşchi
aruncare 305, 306
coloana vertebrală 156
cutie toracică 176
degete mari 314–317
degetul mare *315*
dezvoltare embrionară 296
inervare 152, 255, 256
membre 255
mers 242
muşchi gluteali 272, 292
originea mezodermului 49
penis 232, 233
prinderea de craniu 92
prinderea de osul hioid 118, *121*
rolul somitelor 155, 156
şolduri 271, 272
trunchi 180
umăr 302
unităţi motorii 122
urechi 141, 142
zâmbet 142, 143
muşchi abductori 242
muşchi gluteali 272, 292
muşchi intercostali 176, 177
muşchi interosos 314
muşchi infrahioidieni 131
muşchiul adductor al policelui 314
muşchiul cricotiroidian 118, 120
muşchiul drept abdominal 180
muşchiul flexor lung al policelui 315, 316
muşchiul hioglos 118
muşchiul ischiocavernos 233
muşchiul levator anal (al planşeului pelvian) 162, 234
muşchiul *rizorius* 142
muşchiul *stapedius* 142
muşchiul sternocleidomastoidian 92, 93
muşchiul stilohioidian 118
muşchiul trapez 93
muşchiul zigomatic mare 142
musculiţa de oţet
gene *Hox* 54, 146, 150, *151*
genetică 149, 150, 155
Müller, Johannes Peter 225

nas 99
naştere
comuniune 11
dificultate 244–247
hormoni 234, 235
mărimea craniului 238–241
moaşe 245–247
perioada de gestaţie 237, 241, 243, 244
rotaţie la trecerea prin canalul naşterii 245
Naturphilosophie 27

neanderthalieni (oameni de Neanderthal)
alimentație 187
clavicule 304–306
canalul hipoglosului 122, 123
coloana vertebrală 170–172
craniu 73
creier 75
cutie toracică 172, 185–187
os hioid 117, 118, 123, *125*
vorbire 123, 125, 126, 129
Nefertiti 89
neocortex 55, 56, 62
„neuroni Gandhi“ 68, 69
nerv oculomotor *100*
nerv optic *100*, 106, 112–114
nerv trigemen *100*
nerv vestibular 97, *100*
nerv vestibulocohlear 97
nervi cranieni *100*, 122
nervi olfactivi 99
nervi *v. şi* neuroni; măduva spinării
axoni 58, 59
~ cranieni *100*
cutie toracică 176
dezvoltare embrionară 83, 84, 139, 155, 156, 166, 177, 251, 252
diafragmă 177
dureri de spate 165, 166
ganglioni 84
homunculi, dispunerea corpului 57, *58*
inimă 138, 139
laringe 138, *139*, 140
legături cu creierul 57
legături cu muşchii 122, 155, 156, 255, 256
limbă *100*, 121, 122
nerv vag *100*, 138, *139*
originea ectodermului 49
ureche 97
nerv cohlear 97, *98*
nerv frenic 177
nerv hipoglos *100*, 122
nerv vag *100*, 138, *139*
neuroni motori 50, 51, 57, 63
neuroni senzoriali 50, 84, 165, 166
neuroni *v. şi* nervi
concurență 63, 64
control subconştient 165, 166
dezvoltare embrionară 51, 52, 251, 252
moartea celulelor 251, 252
neuroni-oglindă 68–71
scanare imagistică 62, 63
nodul Schmorl *163*
notocord
Acanthostega 260, 261
clasificarea vertebratelor 38, 39
dezvoltarea tubului neural 50, 51
dezvoltarea vertebrelor 155, 156
gene 46
larve de ascidii 36, 37
nou-născuți
coloana vertebrală 170
craniul nou-născutului *88*, 89, 238–241
poziția în timpul somnului şi forma capului 90
efectul scutecelor asupra testiculelor 231
focalizarea privirii 111
neajutorare 239, 240, 287
neuroni-oglindă 68–71
prima gură de aer 192, 194
nutriție 268

oase *v. şi* pelvis; craniu; coloana vertebrală
adaptare de-a lungul vieții 293–296
brațe 302, 303, 305, 306–309
cartilaj de creştere 253, 254, 291
clitoris 232

cutie toracică *179*
genunchi 273, 274
gleznă 274, 275
hioid *125*
laba piciorului 275, 276
mâini *309*, 312, *313*
neanderthalieni 186
originea mezodermului 49
osificare din cartilaj 86, 87, 134, 135, 176, 252, 253
osificare din mezenchim 87, 135
penis 232, 233
picioare 274, 275
umăr *302*
ureche 96, 97
ochi *v. şi* văz
amfiocşi 103, 104
conuri şi bastonaşe *104*, 105, 107
dezvoltare embrionară *52*, 54, 55, 105, 106, 252
dezvoltare evolutivă 103–107
funcție socială 110–113
pată oarbă 113, 114
poziția orbitelor 109
retină 105, *113*
scleră (albul ochiului) 110, 111
ofiuride 42
oi 55
omfalocel 204
omologie 46, 259, 260, 284
ontogenie 29, 31, 323 *v. şi* dezvoltare embrionară
operculi branhiali 142
oposum 152, 229
opsine 107–109
Oreopithecus bambolii 288, 289
organe genitale *v. şi* sistemul reproducător
asemănări între sexe 221–223
dezvoltare embrionară 218–221, 224, 226, *227*
marsupiale 228
orgasm 234–236
Originea speciilor (Darwin) 28, 257
ornitorinc 55
os clitoridian 232
os penian 232
osicule 96, 97, 140, 197, 327
osteoartrită 165
osul ciocănel (*malleus*) 96
osul etmoid 99, *100*
osul hioid
comparații *125*
dovezi legate de vorbire 121–123
poziție 125
prinderea muşchilor 118, *121*
osul nicovală (*incus*) 96
osul occipital 57, 88, 90, 93, 160
osul radius 303, 308, 309
osul sacru 161, 162, 167, 170, 263, 264
osul *stapes* (scărița) 96
ovare
găină *228*
gene 226
foliculi ai lui Graaf 16
poziție 229
oviduct (trompă falopiană)
concepție 19, 22
dezvoltare embrionară 225–229
păsări 226, *228*
reptile 218
sarcină ectopică 24
ovulație 236
ovule
amfibieni 217, 218
concepția la om 19–21
descoperirea ovulului uman 16, 322
diviziune celulară 22
găini 201
peşti 217
strămoşi din rândul mamiferelor 25
Owen, Richard 257
oxitocină 234, 235

palimpsest 324
pancreas 203, 205
păsări
creier 54, 55
sistem reproducător 218, 219, 224, 228, 230
strămoşi din rândul dinozaurilor 265
pată oarbă 114
patologie 235
păuni 332
pelvis
articulații 263, 264
dezvoltare evolutivă 242, 272
diferențe între sexe 237, 238, 243
eficiența mersului biped 242, 243, 245
formă 180, 240–243
Homo erectus 187
mărimea craniului fătului la naştere 238–241
poziția coloanei lombare 168, 169
prinderea muşchilor 180
Tiktaalik 263
pene, dovezi fosile 30
penis
dezvoltare embrionară 220, 221
ejaculare 234
enzime 232, 233
erecție 221
hipospadias 221
marsupiale 228
păsări 218, 219
poziție 232
reptile 218, 219
structură 222
variații de formă 232
perineu 222, 236
perioadă de gestație 237, 241, 243, 244
peroneu 274, 275
peşti
branhii 134–137
creier 54, 55
fosile 30, 263
inimă 188, 189, 197
mandibulă 141, 142
sistem reproducător 217, 224, 225
splanhnocraniu 134
vezică înotătoare 196, 197
peşti pulmonați 196, 197
„peşti-cotoroanță“ 82, 105
Phocoenoides dalli 161
pia mater 158
picioare *v. şi* membre; mers
alergare 292
articulații 264
formă 268
lungime 289, 291
oase 274, 275
piele
celule din creasta neurală 83, 84
formarea dermei 155
originea ectodermului 49, 135
pigment 84
piept 176, 177, 180, 181, 186, 187 *v. şi* cutie toracică
Pierolapithecus 287
pipăitul, simț dominant 102
pitoni 153
placă cribriformă 99, *100*
placentă 15, 189, 202
placodă 106
planşeul pelvian 162, 234
Platt, Julia 84
plămâni
dezvoltare embrionară 193, 194, 202, 203
dezvoltare evolutivă 196, 197
făt 229
hipertensiune 189, 190, 193
neanderthalieni 186, 187
originea endodermului 49
prima gură de aer 192

schimb de gaze (respirație) 194, 196
surfactant 195
Pliopithecus 167, 282
poliomielită 242
Polypteridae 196
Pontzer, Herman 242
poziții sexuale 236, 237
primate
alimentație 110, 211
creier 54, 70, 71
dezvelirea dinților 142, 143
locomoție 167, 168
miros 101, 102
naştere 244, 245
penis 232, 233
perioadă de gestație 241
pui 239
sistem reproducător 236
testicule 230, 231
văz 108–111
vertebre 166, 167
primate antropoide *v. şi* primate
alimentație 178, 208, 211
brațe 301, 309
cicluri de reproducere 236
coate 308, 309
coloana vertebrală 167, 168
copulație 236, 237
creier 71
cutie toracică 177–180, 183–185
intestine 214
laba piciorului 279
mers biped 268
mers prin copaci 285–287
pelvis 180
simțul mirosului 101, 102
strămoşii omului 282–284, 287, 288 *v. şi* specii de hominini
uter 288
priză 311
procesul mastoidian 92
Proconsul 167, 282, 285
progesteron 238
pronație 303
Protostomia 50
punctul G 235
puncție lombară 158, 159
punte (structură cerebrală) 54
Pye, Lloyd 91

Ramachandran, Vilayanur S. 68, 69
rată metabolică 208–210, 212, 243, 244
rațe 219
răget 130, 131
receptori (ascidii) 36
receptori olfactivi 99, 101
rechini 54, 133, *135*, 141, 145
rechin-pisică 146
rect 203, 210
regim alimentar
carne 293, 296
dieta paleo 214
efectul asupra dezvoltării organismului 268
efectul asupra naşterii 246
efectul asupra structurii feței 129
flexibilitate 213
hominini 209, 211, 212
lilieci 210
mamifere 208
mărimea intestinelor 208–210
oameni de Neanderthal 187
primate 178, 208, 211
primate antropoide 110, 211
relația dintre părinți şi copii 235
relația de cuplu 235
relații evolutive *v.* filogenie
relaxin 238
reorientare în adaptare 331, 332
reptile
arc branhial 140, 141

auz 97
creier 54, 55
fosile 30
sistem reproducător 218
urechi 140, 141
respirație 176, 177, 192, 193
resuscitare cardiopulmonară (RCP) 176
retină 105, *113*, 233
rezonanță magnetică funcțională (RMNf) 65
Richmond, Brian 316
rinichi
dezvoltare embrionară *223*, 224
făt 229
peşti 225
poziție 224
rotația antebrațului 302, 303, 308, 309
rotulă 274

sac vitelin 25, 201, 202
Sahelanthropus tchadensis (Toumai) 75, 269, 270
salamandre 84, 85, 218
Sanes, Joshua, prof. 62, 63
sarcină
acid folic 156, 157
durată 195
~ ectopică 24, 25
~ întreruptă spontan 325
metabolism 243, 244
scanări 11
scanare PET 65
scanări RMN
anatomie vocală 121, 122
clitoris *220*
craniu 56
creier 56, 57, 65–68
intestine 204, 206
scapulă (omoplat) 178, 263, 302, *303*
schelete
Acanthostega 260–262
adaptare de-a lungul vieții 293–296
determinarea sexului 93
determinarea vârstei 93–95, 253, 254, 291
neanderthalieni 186, 187
schimbări cauzate de mediu 329, 330
schimbări comportamentale 294–297
sciatică 163
scleră (albul ochiului) 110, 111
scrot 219, *220*, 221, 230
selecție naturală
adaptare 326, 327
creier 69, 72, 73, 239, 240
Darwin 28–30, 257, 258
„efectul Baldwin“ 296
laringe 126, 127
limitări 325–327
viitorul evolutiv al oamenilor 334–336
semnalizare prin proteine 50, 51
sexul, comportament social 237
siamangi 185
simfiza pubiană 217, 239
simțuri (ascidii) 36
sindromul morții subite la sugari (SMSS) 90
sinusul urogenital 219
sistem reproducător *v. şi* organe genitale
amfibieni, 217, 218
dezvoltare embrionară 217
mamifere 226, 228–230
păsări 218, 219
peşti 217, 224, 225
primate 236, 237
reptile 218
vertebrate 217

situl arheologic din peştera Kebara 117, 118, 123, 186
situri arheologice 324
Slijper, E. J. 294
smalț dentar 95
somite *51*, 155, 166, 175, 255
specii de hominini
clasificare 269
dezvoltare evolutivă 282–285, 303–307
dovezi fosile 30, 122, 123, 169, 289, 292, 293
spermă *v.* spermatozoid
spermatozoid
amfibieni 217, 218
comparație cu viermii-ghindă 43, *44*
concepție 18–21
concurență 231
descoperirea istorică 15–17, 322
ejaculare 234
pești 27, 224, 225
temperatura optimă pentru producția de spermă 230, 231
spina bifida 52, 53, 156
splanhnocraniu 133–135
stabilitate 171, 291, 292, 302
stânca osului temporal *100*
stea-de-mare 42, 43, 46
stern (osul pieptului) 175, 176
stomac
dezvoltare embrionară 202, *203*
vaci 208
Strepsirrhini 102, 121–123
sufocare 126, 127
sulițe 306, 307
surfactant (plămâni) 195
suturi (craniu) *88*, 90, 94

şanțuri cerebrale 57
şerpi *55*, 153, 267
şoareci 102, 154
şolduri 268, *271*–273 *v. şi* pelvis

talamus *53*
talie 305
talus 274, 275
tehnologie 329, 330
telencefal 55, 57–59
tensiune vasculară 189, 190, 232, 233
teoria celulelor 18
teoria hilobatidelor 283
teoria minții 73–75, 333, 336
teoria preformaționistă 17, 18, 27, 322, 333
teoria recapitulării 25–27, 29, 30, 145, 189
testarea ipotezelor 284
testarea teoriilor 284
testicule
coborâre 230
criptorhidism 230, 231
dezvoltare embrionară 219
efectul scutecelor 231
mărime 231, 232
primate 231
testosteron 219, 226
tetrapode 267
tibie 274, 275
tigri 132
Tiktaalik 30, 263
timpanul urechii 97, 140, 144
Tocheri, Matthew 311
Tomasello, Michael 74, 75, 239, 330
tomografie cu emisie de pozitroni (TEP) 65
torace *v.* piept
Toumai 75, 269, 270
tract olfactiv *100*, 101
trahee 118, 202
travaliu distocic 245
tritoni 218

trohlee *308*, 309
trunchi cerebral *100*, 127
tub falopian *v.* oviduct
tub neural
  a treia săptămână de dezvoltare *51*, 79
  a patra săptămână de dezvoltare *52*, 53
  acid folic 156, 157
  amfiocşi 83
  defecte 51, 52
  dezvoltarea neuronilor 50, 51
  Haikouella 47
  importanța notocordului 50, 51
tunicieri *v.* ascidii 38
Tutankhamon 89

țesut adipos 212

umeri 178, 181, 263, 301–305
unghi bicondilar 274
unghii 311–313, 317
unicitate 331–336
unități motorii 122
urangutani
  aruncare 305
  cățărare 275
  copulație 236, 237
  cutie toracică 178, *179*, 185
  mers prin copaci 286
  naştere 244
  presiunea de sub talpă în timpul mersului 281
urechi
  anatomie 96–98
  dezvoltare embrionară 143, 144
  dezvoltare evolutivă 327
  mamifere 141
  presiune 144
  reptile 140
uretră *48*, *220*, 234
urină (la făt) 229
urme de tălpi fosilizate 277, *298*
uter
  contracții 234
  dezvoltare embrionară *227*, *228*, 229
  funcționare 229
  implantare 23, *24*
  mărime 229

vaci 208
vagin
  dezvoltare embrionară *220*, *227*, 228
  orgasm 234–236
van Leeuwenhoek, Antonie 15, 16
variații anatomice 325–327
vase de sânge 49, *51*
văz *v. şi* ochi
  control cerebral 58, 72
  culoare 107, 108
  simț dominant 102
  stereoscopic 110
vânătoare 293
vedere *v.* văz
venă cavă inferioară *192*
venă ombilicală 190, *192*
ventricule (creier) 90, *91*
ventricule (inimă) 189, 190, *191*, *192*
vertebrate
  arbore genealogic *81*
  caracteristici de cordată 38, 39
  forma corpului 152, 154
  ochi 105
  relația cu echinodermele *42*
  sistem reproducător 217
  strămoş agnat 82
  strămoş asemănător cu amfioxul *39*
  strămoş asemănător cu ascidia *37*
vertebră atlas 159, 160
vertebră axis 160

vertebre *v. şi* coloana vertebrală
anatomie 157, 159
articulații 162–166
chişcari *82*
dezvoltare embrionară 155–157
la om *vs* la cimpanzeu *168*, 169
nod Schmorl 163
număr 161, 162, 167
şerpi 153, 160
tipuri 157, 159–*161*
vezică 49, 203, 217
vezică biliară 203
vezică urinară *v.* vezică
Viagra 232, 233
videocapsulă 204, 206, 207
viermi 50, 63
viermi-ghindă 43–46
von Baer, Karl Ernst 16, 27, 28, 145, 324
vorbire *v. şi* laringe
buze 120, 121
dinți 120
dominația bărbaților cu vocea profundă 132, 133
ipoteza hipoglosală 122, 123
limbă 120–122, 125, 126
scanări RMN 121, 129
tonalitate 120, 130–133

Wallace, Alfred Russel 28, 30
Warrener, Anna 242
Wernicke, Carl 62
West-Eberhard, Mary Jane 294
Wilberforce, Samuel 333
Williams, Erin 316
Wolff, Caspar Friedrich 223–225

Yahya, Harun 152
yoga 166
Yunnan (provincie din China) 39, 40, 47

Zallinger, Rudolph 282, 288
zâmbet 142, 143
zona pellucida 20

LISTA ILUSTRAȚIILOR

Homuncul 17
Spermatozoizi care ajung la ovul 21
Cromozomi pe fus 22
Morulă 23
Embrionul în prima săptămână de dezvoltare 24
Dezvoltarea embrionară la diferite animale 26
Ascidie adultă şi larva ei-mormoloc 36
Filogenia vertebratelor şi a ascidiilor 37
Filogenia vertebratelor, a ascidiilor şi a unui strămoş asemănător cu amfioxul 39
Caracteristici de cordată 40
Veri „marțieni“ 42
Vierme-ghindă şi spermatozoid uman 44
Filogenia viermilor-ghindă şi a cordatelor 45
Embrionul în a doua săptămână de dezvoltare 47
Suprafața epiblastului 48
Secțiune transversală printr-un embrion uman aproape de sfârşitul celei de-a treia săptămâni de dezvoltare 51
Tubul neural în a patra săptămână de dezvoltare 52
Creierul embrionului în dezvoltare 53
Selecție de creiere care ilustrează dimensiunea relativă a emisferelor cerebrale 55
Homunculi reprezentând dispunerea corpului în cortexul senzorial şi în cortexul motor 58
Arborele genealogic al vertebratelor, al agnatelor şi al amfiocşilor . . 81
Chişcar 82
Condrocraniul la un embrion uman 86
Partea superioară a unui craniu de om şi a unui craniu de câine 87

Suturile şi fontanelele craniului de nou-născut 88
Statuie a lui Akhenaton şi capul uneia dintre fiicele lui Akhenaton şi Nefertiti 89
Ventriculele dintr-un creier normal 91
Craniul Starchild 92
Diferențe între craniul uman feminin şi cel masculin 93
Dinți temporari, sau de lapte, şi dinți permanenți, sau adulți 94
Mandibulă dintr-un mormânt medieval 95
Osiculele auditive 96
Secțiune transversală prin cohlee 98
Baza craniului şi suprafața inferioară a creierului 100
Celulă ciliată simplă şi celulele fotosensibile 104
Retina văzută prin oftalmoscop 113
Laringele uman 118
Muşchi ataşați de osul hioid 121
Osul hioid al omului modern şi osul hioid al unui om de Neanderthal din Kebara 125
Gaura occipitală mare la om şi la cimpanzeu 128
Cartilajul tiroidian al laringelui 131
Perspective diferite asupra arcurilor mandibulare şi branhiale ale rechinului 134
Embrion uman în vârstă de cinci săptămâni 136
Secțiune transversală prin faringele şi arcurile branhiale ale embrionului uman 137
Arterele arcurilor branhiale 138
Nervul laringeal recurent stâng 139
Arcurile branhiale la rechinul-pisică 146
Gene *Hox* similare la musculița de oțet şi la embrionul uman în dezvoltare 151
Straturile de meninge din jurul măduvei spinării 158
Vertebrele din regiunile cervicală, toracică şi lombară ale coloanei . . 161
Nodul Schmorl într-o vertebră găsită într-un sit arheologic 163
Discul intervertebral şi fațetele articulare 164
Coloana lombară la om şi la cimpanzeu 168
Coloana curbată a omului 169

Unghiul lordotic al secțiunii lombare a coloanei 171
Cutie toracică de urangutan şi de om 179
Două fosile celebre de *Australopithecus afarensis* 184
Dezvoltarea inimii embrionare 191
Circulația la făt 192
Dezvoltarea mugurilor pulmonari 194
Laringele este un tub ataşat de faringe 195
Tubul intestinal endodermic 202
Dezvoltarea intestinului mijlociu 203
Tubul intestinal în formare 205
Dezvoltarea organelor genitale externe masculine sau feminine 220
Clitorisul, aşa cum apare la o scanare RMN 221
Secțiune transversală prin organele genitale externe masculine şi feminine 222
Rinichiul embrionar în curs de dezvoltare 223
Organele genitale interne în formare la embrionul uman de sex masculin 225
Organele genitale interne în formare la embrionul uman de sex feminin 227
Ovarul şi oviductul nepereche ale găinii 228
Dificultatea naşterii la om 240
Brațul şi mâna în formare la embrionul uman 252
Toumai 270
Şoldurile lui Lucy, ale cimpanzeului şi ale omului 271
Genunchiul lui Johanson 273
Laba piciorului la cimpanzeu şi la om 276
Urme mai mult sau mai puțin apăsate ale tălpii în timpul mersului . . 280
Băiatul de la Nariokotome 290
Rotirea omoplatului 302
Capătul inferior al humerusului la babuin, la cimpanzeu şi la om . . . 308
Oasele mâinii la cimpanzeu şi la om 309
Mâna omului 313
Muşchi ai degetului mare caracteristici omului 315
Embrionul uman la opt săptămâni 324